

BEST AVAILABLE COPY

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑪ DE 38 18 398 A 1

⑤ Int. Cl. 4:  
A 01 B 79/00

A 01 B 77/00  
C 12 M 1/00  
C 09 K 17/00

⑳ Aktenzeichen: P 38 18 398.6  
㉔ Anmeldetag: 31. 5. 88  
㉕ Offenlegungstag: 14. 12. 89

Behördenstempel

DE 38 18 398 A 1

㉑ Anmelder:

Xenex Gesellschaft zur biotechnischen  
Schadstoffsanierung mbH, 5860 Iserlohn, DE

㉒ Vertreter:

Seids, H., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 6200 Wiesbaden

㉓ Erfinder:

Bisa, Karl, Dr.med., 5948 Schmalleberg, DE; Paroth,  
Siegfried, 5860 Iserlohn, DE

WITH TRANSLATION  
ATTACHED

㉔ Verfahren und Anlage zur Rekultivierungsbehandlung von xenobiotisch-kontaminiertem Erdreich mittels Mikroorganismen

In einem kombinierten Verfahren zur biologischen Rekultivierungsbehandlung wird mit Xenobiotika kontaminiertes Erdreich von der kontaminierten Stelle abgehoben und in eine kombinierte Behandlungsanlage gegeben, in welcher das zu behandelnde Erdreich einerseits einer anaeroben Behandlung und zeitlich davon getrennt einer aeroben Behandlung unterzogen wird. Die Reihenfolge von anaerober Behandlung und aerober Behandlung kann entsprechend der Art der Kontamination gewählt werden. Es können auch abwechselnd mehrere anaerobe Behandlungsgänge und aerobe Behandlungsgänge vorgesehen werden.

Eine kombinierte Behandlungsanlage kann beispielsweise mit einem Schlammbehandlungsbecken für anaerobe Behandlung und daneben angeordnetem Behandlungsstrakt für aerobe Behandlung ausgestattet sein. Es kommen auch Anlagen in Betracht, bei denen geschlossene Großbehälter, beispielsweise in Art von Faultürmen für die anaerobe Behandlung und Drehrohre-Anlagen für die aerobe Behandlung miteinander kombiniert sind.

DE 38 18 398 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Rekultivierungsbehandlung von xenobiotisch kontaminiertem Erdreich durch Einbringen von die jeweiligen Verunreinigungen bzw. das jeweilige Xenobiotikum abbauenden Mikroorganismen ggf. zusammen mit Nährstoffen für diese Mikroorganismen in das zu behandelnde Erdreich und Erzeugen günstiger Lebens- und Vermehrungsbedingungen für die eingebrachten Mikroorganismen in dem zu behandelnden Erdreich, wobei das zu behandelnde Erdreich von der kontaminierten Stelle abgehoben und auf einer bezüglich Übertritt von Flüssigkeit und Gasen zumindest gegenüber dem Untergrund abgetrennten Unterlage mit Wasser und mit entsprechenden, den jeweiligen kontaminierenden Verunreinigungen und/oder Xenobiotica ausgewählten Mikroorganismen und entsprechend Erfordernis auch zusätzlich mit Nährstoffen für diese Mikroorganismen beschickt wird.

Die Entsorgung von xenobiotisch kontaminiertem Erdreich durch Mikroorganismen gewinnt zunehmend Bedeutung, weil keine zusätzliche Belastung der Umwelt durch die Entsorgung entstehen soll und eine endgültige Lagerung ohne weitere Einschränkung möglich wird. Es ist bereits eine aerobe Biodegradation zur Entsorgung von xenobiotisch kontaminiertem Erdreich vorgeschlagen worden, wofür etwa 90 geeignete Spezies von Mikroorganismen zur Verfügung stehen, deren enzymatische Systeme — zumeist in Kooperation von Consortien — eine gezielte Fähigkeit besitzen, die abzubauen Xenobiotica in ihre Nahrungskette zu übernehmen. Als Energiequelle nutzen sie dazu molekularen Sauerstoff. Der mikrobielle Angriff der aeroben Verfahrenstechnik richtet sich vorwiegend auf Kohlenwasserstoff-Verbindungen, die einer speziellen Dekontamination bedürfen, weil sie ein potentiellies Umwelttrisiko darstellen.

Für die Entsorgung von Abwässern ist es bekannt, Abwasserschlämme, die in erster Linie Verunreinigungen organischer Herkunft enthalten, in anaeroben Verfahren — wie Faulschlammverfahren — einer Biodegradation ihrer Verunreinigungen zu unterziehen. Hierzu werden in erster Linie methanogene Bakterien eingesetzt, von welchen bisher etwa 20 Spezies identifiziert worden sind. Diese methanogenen Bakterien sind geeignet, organische Substanzen vieler Art zu Methan und Kohlendioxid umzusetzen.

Ausgehend von diesem Bekanntem liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, die Entsorgung von xenobiotisch kontaminiertem Erdreich mittels Mikroorganismen wesentlich zu verbessern und die Spanne bzw. Anzahl der biologisch abbaubaren Schadstoffe wesentlich zu vergrößern.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Kombination von mindestens zwei in zeitlicher Aufeinanderfolge ausgeführten Behandlungsabschnitten unterschiedlicher Art, nämlich Biodegradation anaerober Art und unter aeroben Bedingungen gelöst.

Es hat bisher zwar die Meinung vorgeherrscht, daß solche Fremdstoffe, insbesondere Fremdstoffe organischer Herkunft, in dem Erdreich weniger schädlich seien, weil sie ohnehin im Laufe der Zeit durch Fäulnis und Humusbildung im Erdreich untergehen. Tatsächlich hat sich aber herausgestellt, daß eine Vielzahl von Verunreinigungsstoffen im kontaminierten Erdreich vorhanden sein kann, die nicht auf natürliche Weise im Erdreich durch Fäulnis oder Humusbildung untergehen. Vor al-

lem wird aber durch die Erfindung eine Anzahl funktioneller Zusammenwirkungen von aerober und anaerober Biodegradation ermöglicht, die in vielen Fällen erst dann zum völligen Ablauf von Biodegradationszyklen führen, während die früher vorgeschlagene rein aerobische Biodegradationsbehandlung vielfach zum Verbleiben einer Anzahl von Zwischenprodukten in dem behandelten Erdreich führte, die durch aerobische Biodegradation nicht mehr weiter abgebaut werden können, aber trotzdem eine noch ernstzunehmende xenobiotische Rest-Kontamination des behandelten Erdreichs darstellen. Ähnlich verhält es sich bei den nach den bekannten anaeroben Verfahren behandelten Faulschlämmen.

Die das erfindungsgemäße Verfahren kennzeichnende Kombination von zeitlich aufeinanderfolgender anaerober Biodegradationsbehandlung und aerober Biodegradationsbehandlung läßt sich an durch Art und Umfang der xenobiotischen Kontamination des zu behandelnden Erdreichs optimal anpassen. Dabei kann nach Wahl der erste Biodegradations-Behandlungsabschnitt anaerober Art sein, wenn die in dem zu behandelnden Erdreich festgestellten Verunreinigungen in hohem Maße organischer Herkunft sind oder überhaupt bevorzugt durch anaerobe Biodegradation angreifbar sind. Die Wahl des ersten Biodegradations-Behandlungsabschnittes als anaerobe Behandlung wird insbesondere dann zu treffen sein, wenn die in dem zu behandelnden Erdreich enthaltenen, in anaerober Biodegradation angreifbaren Verunreinigungen die Biodegradation aerober Art an allen oder einer Anzahl von in aerobem Verfahren anzugreifenden Verunreinigungen behindern würden.

Umgekehrt kann im Rahmen der Erfindung auch der erste Biodegradations-Behandlungsabschnitt als aerobe Biodegradation vorgesehen werden, wenn das zu behandelnde Erdreich Verunreinigungen solcher Art enthält, die durch aerobe Biodegradation abbaubar sind und den Abbau von anderen Verunreinigungen in anaerober Biodegradation behindern würden. Beispielsweise kommt in solchem Zusammenhang die Behandlung von Erdreich in Betracht, das in starkem Maße mit Mineralöl-Kohlenwasserstoffen und deren Derivate kontaminiert ist. Falls die Art der Kontamination des zu behandelnden Erdreiches nicht ausschlaggebend für die Wahl des ersten Biodegradations-Behandlungsabschnittes ist, kann im Rahmen der Erfindung auch für die Wahl des ersten Biodegradations-Behandlungsschrittes von der jeweils gegebenen Konsistenz des zu behandelnden Erdreiches ausgegangen werden. Ist der Ausgangszustand des zu behandelnden Erdreiches mehr oder weniger schlammartig, so kann als erster Biodegradations-Behandlungsabschnitt eine anaerobe Biodegradations-Behandlung gewählt werden. Während es bei zu behandelndem Erdreich, das sich bei Beginn der Behandlung in relativ trockenem Zustand befindet, eine aerobe Biodegradationsbehandlung als erster Behandlungsabschnitt in Betracht gezogen werden sollte.

Die Anzahl der aufeinanderfolgenden unterschiedlichen Biodegradations-Behandlungsabschnitte ist im Rahmen der Erfindung von Fall zu Fall wählbar und den Erfordernissen anpaßbar. Insbesondere wird man einen dritten oder vierten Biodegradations-Behandlungsabschnitt vorsehen, wenn im zweiten oder dritten Biodegradationsabschnitt Zwischenprodukte entstehen, die für weiteren Abbau eine Biodegradationsbehandlung anderer Art erfordern. Ein denkbare Beispiel ist, wenn ein erster Biodegradations-Behandlungsabschnitt aer-

ober Art gewählt und an diesen ein Biodegradations-Behandlungsabschnitt anaerober Art angeschlossen wird, und in diesem zweiten Behandlungsabschnitt Zwischenprodukte entstehen oder zurückbleiben, die nochmals eine aerobe Biodegradationsbehandlung erforderlich machen. Ähnliche Beispiele sind auch für die Aufeinanderfolge von anaerober Biodegradation — aerober Biodegradation und anaerobe Biodegradation als Nachbehandlung denkbar. Es sind auch analoge Beispiele denkbar, bei denen an die beiden ersten unterschiedlichen Biodegradations-Behandlungsabschnitte nochmals alternierend zwei Biodegradationsbehandlungen unterschiedlicher Art anzuschließen sind.

Die Aufeinanderfolge der Biodegradations-Behandlungsabschnitte unterschiedlicher Art ist erfindungsgemäß begleitet mit der zwischen den aufeinanderfolgenden unterschiedlichen Behandlungsabschnitten vorzunehmenden Umstellung der Konsistenz des zu behandelnden Erdreichs. Auch bei dieser Konsistenzumstellung können Entsorgungsmaßnahmen einbezogen werden, beispielsweise das Herauslaugen von beispielsweise während der vorhergehenden Biodegradation entstandenen wasserlöslichen Verunreinigungsstoffen aus dem Erdreich.

Der Wasserhaushalt kann im erfindungsgemäßen Verfahren optimal eingestellt werden. Beim Übergang von schlammartiger zu krümelig feuchter Konsistenz des Erdreiches ist naturgemäß Wasser abzuziehen. Am Ende von aeroben Biodegradations-Behandlungsabschnitten kann ein Durchspülen des behandelten Erdreiches mit Wasser als Endbehandlung oder auch als Vorbehandlung zum Übergang in die Überführung in schlammartiger Konsistenz für eine nachfolgende anaerobe Biodegradationsbehandlung in Betracht gezogen werden. Alles Wasser, daß bei dieser oder jener Behandlungsweise von dem in Behandlung befindlichen Erdreich abgezogen wird, soll im Rahmen der Erfindung aufgefangen und auf Verunreinigungen untersucht sowie je nach Untersuchungsergebnis von Verunreinigungen befreit werden. Gleiches gilt auch für auf dem zu behandelnden Erdreich oder auf der Behandlungsanlage oder dieser direkt benachbarter Flächenbereiche niedergegangenes Regenwasser. Durch das Auffangen, Untersuchen und evtl. Reinigen des Regenwassers wird sichergestellt, daß kein verunreinigtes Wasser in den Untergrund gelangt. Außerdem ist das aufgefangene, untersuchte und evtl. gereinigte Wasser wertvoll, um bei einem anderen Biodegradations-Behandlungsabschnitt wieder in das Verfahren zurückgeführt zu werden. Außerdem können dem im einen oder anderen Biodegradations-Behandlungsabschnitt zugeführten Wasser Behandlungsstoffe und/oder Mikroorganismen zugegeben werden, die auch in dem Wasser verbleiben können, wenn dieses bei einem gleichen oder ähnlichen Biodegradations-Behandlungsabschnitt ins Verfahren zurückgeführt wird.

Bevorzugt wird man bei Beginn jedes einzelnen Biodegradations-Behandlungsabschnittes Mikroorganismen der dafür vorgesehenen Art in das in Behandlung befindliche Erdreich einführen. Aber auch während des Ablaufs des jeweiligen Biodegradations-Behandlungsabschnitts können solche Mikroorganismen nachdosiert und/oder durch Zugabe von Mikroorganismen anderer Art und/oder anderer Spezies ergänzt werden.

Der biologische Abbau im anaeroben und aeroben Milieu kann bevorzugt mittels selektiver und speziell adaptierter Mikroorganismen durchgeführt werden, die dem jeweiligen Habitat entstammen und mittels be-

kannter mikrobiologischer Methoden an steigende Konzentrationen von abzubauenen Substanzen gewöhnt werden. Die Mikroorganismen können somit enzymatische Fähigkeiten erlernen, um die Schadstoffe in ihre Nahrungskette einzubauen. Bevorzugt wird man sowohl für anaerobe Biodegradation als auch für aerobe Biodegradation Consortien von Mikroorganismen einsetzen, die nicht allein an die abzubauenen Substanzen sondern auch aneinandergeöhnt werden können, um synergetische Wirkungen hervorzurufen. So können beispielsweise Consortien von Methan erzeugenden anaeroben Bakterien folgender Art gebildet werden:

Generic Name	Spezies
Methanobakterium	M. Soehngenii M. Ruminantium
Methanosarcina	M. Mobile M. Methanica
Methanococcus	M. Mazel
Vorkommen:	Anaerober Abfall, Klärschlamm.

Es bestehen auch ökologische Interaktionen von chemo-autotrophen Bakterien mit anderen Organismen, die Schwefel-, Stickstoff- und Eisenzyklen in Gang setzen.

Desulfovibrio	D. Desulfuformicans
Nitrobakter	N. Winogradskyi
Peptokokken	P. Niger

(Die Peptokokken können Proteinhydrolysate als einzige Energiequelle verwenden).

Bei solchen ökologischen Interaktionen von chemo-autotrophen Bakterien mit anderen Organismen erfolgt die Reduzierung von CO<sub>2</sub> vorwiegend über den Calvin-zyklus.

Die anaeroben Mikroorganismen sind weit verbreitet in Habitaten, in denen ein Abbau von Materie organischen Herkommens vor sich geht.

Die methanogenen Bakterien besetzen die terminale Nische im Elektronentransport, der durch anaeroben Abbau organischer Materie entsteht.

Bei der Fermentation der organischen Materie entstehen vorwiegend Wasserstoff und CO<sub>2</sub> sowie flüchtige Fettsäuren. Die methanogenen Bakterien beeinflussen den gesamten anaeroben Stoffwechsel organischer Verbindungen bei vollständiger Dissimilation zu Methan und CO<sub>2</sub>. In anaeroben Bereichen befinden sich demnach zahlreiche Organismen, die eine bedeutende ökologische Rolle übernehmen, in dem sie unlösliches organisches Material in lösliche Verbindungen und Gase überführen, die dann in dem aeroben Bereich weiter abgebaut werden können.

In entsprechender Weise können auch in den aeroben Biodegradations-Behandlungsabschnitten Consortien gebildet werden, die beispielsweise aus folgenden Mikroorganismen ausgewählt werden können:

Candida sp.  
Aureobasidium pullulans  
Myrothecium verrucaria  
Cladosporium cladosporioides  
Saccharomyces sp.  
Aspergillus sp.

Rhodotorula sp.  
Candida lipolytica  
Micrococcus sp.  
Nocardia sp.  
Pseudomonas  
Flavobacterium sp.  
Corynebacterium sp.  
Arthrobacter sp.  
Hefen  
Acrochromobacter sp.  
Sarcina sp.  
Bacillus sp.  
Streptomyces sp.

Für diese Mikroorganismen bzw. aus solchen Mikroorganismen zusammengestellte Consortien kommen Nährbodenmaterialien in Betracht, wie sie für diese Mikroorganismen bereits als geeignet bekannt sind. Beispiele hierfür sind:

#### Nährlösung I

Zitronensäure	0,5	
Mannit	1,0	
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1,0	25
Asparaginsäure	0,2	
Mg SO <sub>4</sub> × 7 H <sub>2</sub> O	0,2	
Superphosphat	1,0	
Harnstoff	3,0	
Lezithin	6,0	30
Wasser	1000,0	

#### Nährlösung II

Handelsübliches Nährbodenmaterial angepaßt auf die jeweilige Bakterienart ("Difco")	23,0 g	35
Hefeextrakt	3,0 g	
Ethylenglycol	5,0 ml	40
Glycose	5,0 g	
Agar-agar	15,0 g	
Destilliertes Wasser	1000 ml	

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich durch eine Vielzahl von Verfahrensbesonderheiten und durch eine Vielzahl weiterer Verfahrensbesonderheiten und eine Vielzahl weiterer erreichter Vorteile aus, wie dies die folgenden Gesichtspunkte zeigen:

A. das anaerobe Abbauprodukt eignet sich besonders für kontaminierten Schlamm, weil hierin die Bedingungen für eine weitgehende Verarmung an Sauerstoff mit zunehmender Tiefe gegeben wird. Die optimalen Prozeßbedingungen mit Einhaltung von Temperatur und Feuchtigkeit sind leicht zu steuern. Ein vorwiegend trockenes Erdreich kann zweckmäßig durch Anfeuchtung in einen Schlammzustand überführt werden.

B. Die Abbaustufe und die Umsatzrate sind von der Größe der mikrobiellen Population und deren Aktivitätspotential abhängig. Da die Abbaugeschwindigkeit bei anaeroben Verfahren relativ langsam vor sich geht, muß eine Anreicherung des Habitats erfolgen. Hierfür eignen sich die kooperativ und synergistisch wirksamen, speziell adaptierten Gruppen von Mikroorganismen.

C. Die Inokulation des Behandlungsmilieus erfolgt durch Einschub von Glasampullen, die unter konservierenden Bedingungen anaerobe Mikroorganismen enthalten. Die Ampullen werden in einer hohlen Lanze geladen und mittels einem komprimierten Schutzgas in den Schlamm getrieben. Dabei werden die anaeroben Mikroorganismen aus der zerbrochenen Ampulle freigesetzt und durch die Antriebsenergie in der Umgebung verteilt.

Durch beliebig viele Inokulationen an statistisch günstigen Punkten des Verteilungsbereichs entstehen Zonen erhöhter Aktivität zur mikrobiellen Umsetzung von organischen Rückblenden zu Methan und Kohlendioxid.

D. Eine biotechnisch verbesserte Prozeßführung ergibt sich mit einer weitgehenden Automatisierung der Inokulation. Während die anaeroben Mikroorganismen mit zusätzlichen Nährstoffen in den Glasampullen verfügbar gemacht werden, sind diese auf einer Lochscheibe derart anzuordnen, daß sie durch einen Kolben, der mit Schutzgas angetrieben wird, in die Sonde vorgeschoben werden kann und in den Schlamm eingeschossen wird. Mit dem gedrehten Magazin steht eine neue Ampulle mit dem Inokulat für den Einschub zur Verfügung.

Die gesamte Apparatur ist auf einen Schlitten montiert, der mittels einer geeigneten Vorrichtung über den Schlamm gezogen wird. Mit einem entsprechenden Steuersystem können die Zeitintervalle und die Häufigkeit der Inokulationen an gewählten Punkten automatisiert werden.

E. Unter normalen Bedingungen geht die anaerobe Behandlungsstufe der aeroben Biodegradation voraus. Bei Anwesenheit von Kohlenwasserstoff-Verbindungen in hoher Konzentration kann jedoch der anaerobe Abbau gestört werden. In solchen Fällen wird die anaerobe Biodegradation nachgeschaltet, so daß eine weitgehende Sanierung nicht nur der Kohlenwasserstoffe, sondern auch der organischen Verbindungen erreicht wird.

F. Die räumlich getrennten Maßnahmen anaerober und aerober biologischer Prozesse lassen sich raumsparend und zeitlich synchronisiert durchführen, wenn das Behandlungstarget, der Rekultivierungsbereich entsprechend angelegt ist. Die Anlage besteht aus zwei rechteckigen Becken mit undurchlässigem Untergrund. Ein Becken wird im oberen Anteil mit kontaminiertem Erdreich beschickt, während der untere Teil als Abklingbecken dient. Hier wird die anaerobe biologische Behandlung durchgeführt. Nach Beendigung der Maßnahme kann das behandelte Erdreich in das Areal der aeroben Biodegradationsmaßnahme zugeführt werden.

G. Ein kombiniertes Umsetzgerät ermöglicht die wechselnde Beschickung der aeroben und anaeroben Behandlungsbereiche.

H. Bei der anaeroben Umsetzung ist der Energiebedarf relativ gering, da keine Belüftung oder durch Mischung des Materials erfolgen muß. Das entstehende Biogas kann mit geeigneten Vorrichtungen genutzt werden. Hierfür bietet sich die Prozeßoptimierung durch notwendige Erwärmung des aeroben Biodegradationsprozesses an.

I. Der Wasserhaushalt der Rekultivierungsanlage wird derart betrieben, daß anfallendes Regenwasser, oder bei Überschreiten der Feldkapazität perkulierendes Wasser dem System bei Bedarf wieder

zugeführt oder bevorratet wird. Damit wird eine übergreifende Kontamination durch Sickerwasser vermieden.

Für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eignet sich besonders eine Anlage zur kombinierten Biodegradationsbehandlung von kontaminiertem Erdreich, die sich dadurch kennzeichnet, daß ein Schlammbehandlungsbecken und ein mit mindestens einer Bodenplatte belegter Behandlungstrakt für aerobe Biodegradationsbehandlung des Erdreichs nebeneinander angeordnet sind, wobei das Schlammbehandlungsbecken an seinem Boden und seiner Umfangswand flüssigkeitsdicht ausgebildet ist, während in der im übrigen flüssigkeitsdichten Bodenplatte mit im Platteninneren vorgesehenen Kanälen in Verbindung stehende poröse Plattenbereiche vorgesehen und die im Platteninneren vorgesehenen Kanäle an Einrichtungen zum Abführen von Flüssigkeit und/oder Zuführen von gasförmigen Medien verbunden sind. Ferner kennzeichnet sich eine solche Anlage dadurch, daß Einrichtungen zum Überführen des zu behandelnden Erdreichs vom Schlammbehandlungsbecken zum Behandlungstrakt und/oder umgekehrt sowie am Schlammbehandlungsbecken und/oder dem Behandlungstrakt bewegliche Behandlungseinrichtungen für das Erdreich angeordnet sind. Bei einer solchen Anlage wird das zu behandelnde kontaminierte Erdreich zumindest gegenüber dem Untergrund sicher abgetrennt, so daß keinerlei kontaminierende Stoffe aus dem zu behandelnden Erdreich in den Untergrund übertreten können, und zwar auch nicht durch Flüssigkeitsübertritt aus dem zu behandelnden Erdreich in den Untergrund verschleppt werden können. Innerhalb dieser Anlage kann das zu behandelnde Erdreich je nach der gewählten Behandlungsart einmal oder mehrmals zwischen dem Schlammbehandlungsbecken und dem Behandlungstrakt oder umgekehrt hin und her gefördert werden.

Um den Übergang zwischen anaerober Biodegradationsbehandlung und aerober Biodegradationsbehandlung einfach und ohne erheblichen Zeitaufwand zu ermöglichen, empfiehlt es sich, das Schlammbehandlungsbecken und den Behandlungstrakt zu beiden Seiten einer Führungsbahn für eine oder mehrere Überführungsvorrichtungen für das Erdreich anzuordnen. Besonders vorteilhaft ist dabei eine Anordnung, bei der das Schlammbehandlungsbecken und der Behandlungstrakt in ihrer Längsrichtung nebeneinander liegen und im wesentlichen gleiche Länge aufweisen, die dazwischen vorgesehene Führungsbahn sich über diese Länge erstreckt und die porösen Plattenbereiche des Behandlungstraktes als sich über die Länge des Behandlungstraktes erstreckende, zur Führungsbahn und zueinander parallele Streifen ausgebildet sind. Auf diese Weise kann das aus dem Schlammbehandlungsbecken abgezogene Erdreich von der sich auf der Führungsbahn bewegenden Überführungsvorrichtung direkt auf einen solchen streifenförmigen porösen Plattenbereich aufgebracht werden, um dort sehr schnell das Wasser aus dem schlammförmigen Material abziehen, so daß das Erdreich sehr schnell in die für die aerobe Biodegradationsbehandlung geeignete krümelig-feuchte Konsistenz übergeführt werden kann.

Oberhalb des Schlammbehandlungsbeckens und des Behandlungstraktes können zur Bildung getrennter verschließbarer Räume anbringbare oder angebrachte Abdeckungen vorgesehen sein. Mit diesen Abdeckungen können die optimalen Biodegradationsbedingungen

besser sichergestellt werden. Die Abdeckung über dem Schlammbehandlungsbecken kann zugleich Teil einer Auffang- und Gewinnungseinrichtung für brennbare Gase, insbesondere Methan sein.

Um das Überführen des zu behandelnden Erdreichs wahlweise von dem Schlammbehandlungsbecken zum Behandlungstrakt oder vom Behandlungstrakt zum Schlammbehandlungsbecken zu ermöglichen, empfiehlt es sich, mindestens eine entlang der Führungsbahn bewegbare, mit sich quer zum Schlammbehandlungsbecken und zum Behandlungstrakt erstreckenden Fördereinrichtungen für Schlamm und/oder körniges Erdreich ausgestattete Fördervorrichtung vorzusehen, deren Förderrichtung wählbar ist. Dabei kann die Länge der Quererstreckung über den Behandlungstrakt einstellbar bzw. verstellbar sein, um auf diese Weise mehrere parallel verlaufende Streifen des Behandlungstraktes mit dem aus dem Schlammbehandlungsbecken abgezogenen Material zu beschicken. Ferner empfiehlt es sich, bei einer solchen Fördereinrichtung Schlammaufnahmeeinrichtungen vorzusehen, die an das über dem Schlammbehandlungsbecken liegende Ende der Fördereinrichtungen ansetzbar ist. Stattdessen oder zusätzlich empfiehlt es sich, auch Erdreich-Aufnahmeeinrichtungen vorzusehen, die an das über dem Behandlungstrakt liegende Ende der Fördereinrichtungen ansetzbar sind.

Während bei der aeroben Biodegradationsbehandlung Mikroorganismen durch Aufregnen auf das Erdreich zugeführt oder nachgeführt werden können, empfiehlt es sich, bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung, über dem Schlammbehandlungsbecken einstellbare oder eingestellte Inokulationseinrichtungen für Mikroorganismen in den Schlamm vorzusehen. Diese Inokulation sollte nämlich möglichst ohne Einführen von Luft bzw. Luftsauerstoff in den Schlamm durchgeführt werden.

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform einer solchen Inokulationseinrichtung enthält beispielsweise ein lanzenartig in den Schlamm einführbares Rohr und eine an dieses Rohr angesetzte oder ansetzbare, mit komprimiertem Inertgas arbeitende Einschießvorrichtung für die Mikroorganismen enthaltende zerstörbare Ampullen. Für mehr oder weniger automatischen Betrieb empfiehlt es sich, diese Einschießvorrichtung mit einer wahlweise vor dem Rohr einstellbaren Lochscheibe zum Einsetzen der mit Mikroorganismen und ggf. zusätzlichen Nährmaterial für die Mikroorganismen gefüllten Ampullen und mit einer Einstoßvorrichtung für die durch Einstellen der Lochscheibe jeweils gewählte Ampulle in das Rohr auszustatten. Eine solche Inokulationseinrichtung für Mikroorganismen kann bei der erfindungsgemäßen Anlage vorzugsweise auf einem über die Oberfläche des Schlammbehandlungsbeckens verstellbaren Schlitten angebracht sein, der selbst wiederum mittels einer Schleppvorrichtung von den Beckenrändern her an die gewünschten Stellen einstellbar sein kann.

Für den Behandlungstrakt zur aeroben Biodegradationsbehandlung kann in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ein über die Bodenplatte verfahrbares Erdreich-Durchwirbelungsgerät vorgesehen sein, das unterhalb einer eine Bearbeitungskammer überdeckenden Gehäusewand mindestens ein rotierendes und das Erdreich aufwirbelndes Bodenfräswerkzeug und in der Gehäusewand angebrachte, in die Bearbeitungskammer gerichtete Düsen zum Einspritzen von Wasser, Nährlösung oder Nährdispersion und Mikroorganismen enthält. Ein solches Bodendurchwirbelungs-

gerät kann in solcher Weise ausgebildet sein, daß es eine durchgehend gleichdicke Erdreichlage bearbeitet und dabei in hohem Maße mit Luft aufwirbelt. Hierbei werden Erdreich-Klumpen zerkleinert, und es wird die Durchlässigkeit des Erdreichs für Luft wesentlich verbessert. Zugleich bietet ein solches Erdreich-Durchwirbelungsgerät wesentlich verbesserte Verteilung von Feuchtigkeit und Nährbodenmaterial sowie Mikroorganismen innerhalb des zu behandelnden Erdreiches. Das Erdreich-Durchwirbelungsgerät kann dabei in Art eines Mieten-Umsetzgerätes ausgebildet sein und dazu eine Gehäusewand aufweisen, die am Einlaß zur Behandlungskammer in Art eines Einlaßtrichters und am Auslaß von der Behandlungskammer als Mieten-Formwand ausgebildet ist. Das Erdreich-Durchwirbelungsgerät kann vor der Behandlungskammer oder in deren Einlaßbereich eine in das zu behandelnde Erdreich greifende Feuchtigkeits-Meßsonde aufweisen, die mit einer Mengen-Steuerungsvorrichtung für die Wasserzufuhr verbunden ist. Eine solche Flüssigkeits-Meßsonde ist bevorzugt scheibenartig, beispielsweise als rotierende Scheibe, auszubilden.

Das Erdreich-Durchwirbelungsgerät kann als einheitliches Gerät aufgebaut sein. Bevorzugt wird man aber ein aus getrennten Aggregaten aufgebautes Gerät vorsehen, nämlich ein Erdreich-Durchwirbelungsgerät, das ein mit Zapfwelle ausgestattetes Zugerät und ein an das Zugerät anhängbares und mit dem Antrieb für das Bodenfräszeug an die Zapfwelle anschließbares Bearbeitungsgerät sowie Reservoirs für Wasser, Nährlösung bzw. Nährdispersion und Mikroorganismen und Zuführungsleitungen und Steuerventile zum Zuführen des Wassers, der Nährlösung bzw. Nährdispersion und der Mikroorganismen von den Reservoirs zu den in der Gehäusewand des Bearbeitungsgerätes angebrachten Düsen enthält. Die Reservoirs für Wasser, Nährlösung oder Nährdispersion und Mikroorganismen können dabei auf dem Zugerät angebracht sein. Auf dem Bearbeitungsgerät kann dabei eine Mischpumpe für Wasser, Nährlösung bzw. Nährdispersion und Mikroorganismen vorgesehen sein, deren Saugstutzen mit den Zuführungsleitungen für Wasser, Nährlösung bzw. Nährdispersion und Mikroorganismen und deren Druckstutzen mit einer zu den Düsen führenden Verteiler-Druckleitungen verbunden ist.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch zwei nebeneinander angeordnete Rekultivierungsfelder für anaerobe und aerobe Behandlung;

Fig. 2 einen schematischen Schnitt 2-2 der Fig. 1;

Fig. 3 eine etwas abgewandelte Ausführung der Rekultivierungsfelder nach Fig. 1 und 2, schematisch im Schnitt und perspektivischer Darstellung;

Fig. 4 schematisch eine Lanze zum Inokulieren von Mikroorganismen bei anaerober Behandlung;

Fig. 5 eine Revolveranordnung zum Laden der Lanze nach Fig. 4;

Fig. 6 eine schematische Darstellung des Inokulationsvorganges mittels einer Lanze nach Fig. 4;

Fig. 7 ein im Rahmen der aeroben Behandlung einzusetzendes Erdreich-Durchwirbelungsgerät, schematisch im vertikalen Schnitt;

Fig. 8 einen Teilschnitt durch den eigentlichen aeroben Behandlungstrakt gemäß 2-2 in Fig. 1 in abgewandelter Ausführung;

Fig. 9 eine teilweise schematische Draufsicht auf den

geöffneten Behandlungstrakt gemäß Fig. 8 und

Fig. 10 ein im Beispiel nach den Fig. 8 und 9 einzusetzendes Mieten-Umsetzgerät, schematisch im Schnitt 10-10 der Fig. 9.

Bei der in der Zeichnung dargestellten Anlage 10 zur kombinierten Biodegradationsbehandlung von mit organischen Verunreinigungen und/oder anderen xenobiotika-kontaminiertem Erdreich sind ein Schlammbehandlungsbecken 11 und ein mit mindestens einer Bodenplatte 13 belegter Behandlungstrakt 12 für aerobe Biodegradationsbehandlung des Erdreiches nebeneinander angeordnet. Das Schlammbehandlungsbecken 11 ist an seinem Boden und an seiner Umfangswand flüssigkeitsdicht ausgebildet. Die Bodenplatte 13 des Behandlungstraktes 12 ist im wesentlichen flüssigkeitsdicht ausgebildet, aber mit im Platteninneren vorgesehenen Kanälen 18 versehen, die über poröse Plattenbereiche 16 mit streifenförmigen Teilen der Plattenoberfläche in Verbindung stehen, um auf diese Weise den über den porösen Plattenbereichen 16 aufgeschütteten Mieten 131 von zu behandelndem Erdreich Flüssigkeit abziehen und gasförmige Medien von unten her zuführen zu können. Ferner enthält die Anlage 10 Einrichtungen 14, mit welchen das zu behandelnde Erdreich vom Schlammbehandlungsbecken 11 zum Behandlungstrakt 12 und/oder umgekehrt überführt werden kann. Diese Einrichtungen 14 sind im dargestellten Beispiel in Längsrichtung über eine zwischen dem Schlammbehandlungsbecken 11 und dem Behandlungstrakt 12 gebildete Trennwand 15 verfahrbar. Die Einrichtungen 14 enthalten ein Fördergerät 16, mit dem krümeliges Material und auch schlammförmiges Material in der einen oder anderen gewählten Richtung gefördert werden kann. Ferner enthalten die Einrichtungen 14 Förderleitungen 19, 20 die sich über das Schlammbehandlungsbecken 11 und den Behandlungstrakt 12 erstrecken, wobei die sich über den Behandlungstrakt 12 erstreckenden Förderleitungen 20 in ihrer Länge einstellbar sind, um beim Verfahren der Einrichtung 14 entlang der Trennwand 15 auf dem Behandlungstrakt 12 sich parallel erstreckende Mieten 131 von zu behandelndem Erdreich aufbauen zu können.

Wie Fig. 1 zeigt, ist außerdem über dem Schlammbehandlungsbecken ein in seiner Lage einstellbarer Schlitten 21 für eine Inokulationslanze 22 vorgesehen, während auf dem Behandlungstrakt 12 fahrbare Behandlungseinrichtungen 110 in Form eines Erdreichaufwirbelungsgerätes oder eines Mietenumsetzgerätes vorgesehen sind.

Oberhalb des Schlammbehandlungsbeckens 11 sind — wie Fig. 1 zeigt — Einstelleinrichtungen, beispielsweise Seilzüge 21 angebracht, mit welchen ein die Inokulationslanze 14 tragender Einstellschlitten 22 an jede gewünschte Stelle oberhalb des Schlammbehandlungsbeckens einstellbar ist.

In der abgewandelten Ausführungsform nach Fig. 3 ist die Bodenfläche des Schlammbehandlungsbeckens mit seitlicher Neigung ausgebildet, um bei entleerten Beckenoberflächenwasser abziehen zu können. Auch die Oberfläche des Behandlungstraktes 12 ist von beiden Seiten her nach der Mitte hin geneigt, so daß Oberflächenwasser in der Mitte des Behandlungstraktes zusammenläuft und über einen in der Bodenplatte 13 angebrachten Kanal 23 abgezogen werden kann.

Das über dem Schlammbehandlungsbecken 11 liegende Ende der Förderleitung 19 ist dazu ausgebildet, daß dort Schlammfassungseinrichtungen 24 angesetzt werden können, wie dies in Fig. 1 gestrichelt angedeutet ist. Ebenso kann an das über dem Behandlungstrakt 12

für aerobe Biodegradationsbehandlung liegende Ende der Förderleitungen 20 mit ansetzbaren Erdreich-Aufnahmeeinrichtungen ausgestattet werden, wie dies gestrichelt bei 25 in Fig. 1 angedeutet ist.

Sowohl das Schlammbehandlungsbecken 11 als auch der Behandlungstrakt 12 für aerobe Biodegradationsbehandlung können mit einer Abdeckung 45 versehen sein, wie sie in Fig. 8 angedeutet ist. Die über dem Schlammbehandlungsbecken 11 vorzusehende Abdeckung kann dazu ausgebildet sein, daß sie das bei der Schlammbehandlung anfallende Methan auffangen läßt. Zugleich dient die Abdeckung 14 am Schlammbehandlungsbecken 11 zur Einstellung vorteilhafter Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen oberhalb des Schlammbehandlungsbeckens 11. Die über den Behandlungstrakt 12 anbringbare Abdeckung 45 dient in erster Linie zur Abschirmung gegenüber der Umgebung und läßt ebenfalls die sichere Einstellung eines vorteilhaften Behandlungsregimes hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit sowie Gaszusammensetzung an den Mieten von zu behandelndem Erdreich zu.

Bei der in Fig. 4 gezeigten Ausführungsform der Inokulationslanze 14 ist ein Lanzenrohr 31 vorgesehen, das auf dem Einstellschlitten vertikal verstellbar und damit aus dem Schlamm heraushebbar und in den Schlamm einsteckbar ist. Zum besseren Einstecken in den Schlamm ist das Lanzenrohr 31 mit einer Spitze 32 versehen. Oberhalb der Spitze 32 ist ein Ring von Auslaßöffnungen 33 gebildet. An seiner Oberseite trägt das Lanzenrohr 31 eine Revolveranordnung 34 und eine Einschiebvorrichtung 35, um jeweils eine mit Mikroorganismen gefüllte Ampulle 36 aus der Revolveranordnung 34 in das obere Ende des Lanzenrohres 31 zu schieben. Wie Fig. 5 zeigt, kann die Revolveranordnung beispielsweise eine Revolverplatte 37 mit sechs Ampullen aufnahmen 38 enthalten. Die Ampullen aufnahmen 38 sind in einem Winkelabstand von 60° angeordnet. Zwischen den Ampullen aufnahmen 38 weist die Revolverplatte 37 Plattenteile 39 auf. Durch Drehen der Revolverplatte 37 um Winkel von jeweils 30° kann abwechselnd eine Ampullen aufnahme 38 oder ein abschließender Wandteil 39 über die Oberseite des Lanzenrohres 31 eingestellt werden. Wie aus Fig. 6 ersichtlich, ist in der Ausgangsposition 1 eine solche Stellung vorgesehen, bei der ein Zwischenplattenteil 39 über dem oberen Ende des Landesrohres 31 liegt. Durch Verdrehen der Revolverplatte 37 kann dann eine gewählte Ampulle über das obere Ende des Lanzenrohres 31 eingestellt werden. Diese Ampulle wird dann mit der Einschiebvorrichtung 35 in das Lanzenrohr 31 eingeschoben. Die Revolverplatte 37 wird dann um 30° verdreht, so daß der nächste Zwischenplattenteil 39 einen oberen Verschluss für das Lanzenrohr 31 bildet. In das obere Ende des Lanzenrohres 31 oberhalb der eingeschobenen Ampulle 36 wird dann über eine Leitung 40 Inertgas, beispielsweise Stickstoff, eingepreßt. Der Stickstoff drückt die Ampulle 36 im inneren des Lanzenrohres 31 nach unten bis in den Bereich der Spitze 32. Am unteren Ende des Lanzenrohres 31 im Bereich der Spitze 32 zerschellt dann die Ampulle 36.

Die Mikroorganismen werden aufgrund des vom Inertgas ausgeübten Druckes durch den Kranz von Öffnungen 33 aus dem Lanzenrohr 31 in den umgebenden Schlamm gepreßt.

Durch Einstellung des Schlittens 22 und durch Einstellung der Revolverplatte 37 können somit an jeder gewünschten Stelle des Schlammbehandlungsbeckens 11 gewünschte Mikroorganismen bzw. Consortien von Mi-

kroorganismen in den Schlamm inokuliert werden.

Für die Bearbeitung des in aerobem Biodegradationsbehandlung befindlichen Erdreichs 61 eignen sich besonders fahrbare Bearbeitungsgeräte, wie sie im folgenden anhand der Fig. 7 bis 10 erläutert werden.

In Fig. 7 ist ein Erdreich-Aufwirbelungsgerät 110 schematisch dargestellt. Das Erdreich-Aufwirbelungsgerät 110 enthält eine auf eine sich quer zur Vorschubrichtung erstreckenden Achse 111 aufgesetzte Reihe von Bodenfrägerscheiben 112, die im Sinne des Pfeiles 113 zu rascher Umdrehung angetrieben sind. Die Reihe von Bodenfrägerscheiben 112 ist unterhalb einer Gehäusewand 114 angebracht. Das ganze Gerät kann mittels eines Rahmens 115 auf seitlich angebrachten, nicht dargestellten Rädern getragen sein. Oberhalb der Reihe von Bodenfrägerscheiben 112 ist auf dem Rahmen 115 eine Zuführvorrichtung 116 für Wasser (H<sub>2</sub>O), Nährlösung oder Nährdispersion (NUTR) und Mikroorganismen (Mo) angebracht. Diese Zuführvorrichtung enthält eine Mischpumpe (P) 117 für diese Stoffe. An den Saugstutzen dieser Mischpumpe 117 ist über ein Ventil 118 die Zuführleitung für diese Stoffe angeschlossen, während an den Druckstutzen der Mischpumpe über eine Verteilerleitung 119 Sprühdüsen 120 angeschlossen sind. Diese Sprühdüsen sind in das Innere einer unterhalb der Gehäusewand 114 gebildeten Behandlungskammer 121 auf das von den Bodenfrägerscheiben 112 aufgewirbelte Erdreich gerichtet.

In Vorschubrichtung vor der Reihe von Bodenfrägerscheiben 112 ist eine scheibenförmige Feuchtigkeits-Meßsonde 122 angebracht, die mit einem Steuergerät 123 elektrisch verbunden ist, um die gemessenen Feuchtigkeitswerte in dieses Steuergerät 123 einzugeben. An dem Steuergerät können in diesem Beispiel die für die Behandlung des Erdreiches gewünschte Feuchtigkeit, die gewünschte Nachfuhr von Nährlösung oder Nährdispersion und die gewünschte Nachbeschickung mit Mikroorganismen eingestellt werden. Das Steuergerät 123 kann dementsprechend im dargestellten Beispiel einen Mikroprozessor enthalten, der aus den vorgenommenen Einstellungen und aus dem gemessenen Feuchtigkeitswert die erforderlichen Steuerungen an dem Antrieb 124 der Mischpumpe 117, dem der Mischpumpe 117 vorgeschalteten Ventil 118 und an den Ventilen 125, 126 und 127 vornimmt, die an die Auslässe der Reservoire 128, 129 und 130 für Wasser, Nährlösung bzw. Nährdispersion und Mikroorganismen angesetzt sind. Das Erdreich-Durchwirbelungsgerät 110 ist von Zeit zu Zeit, beispielsweise alle 3 bis 4 Tage oder auch je nach Erfordernis nur alle 3 bis 4 Wochen einmal, durch die auf der Bodenplatte 13 aufgebrauchte Schicht von zu behandelndem Erdreich zu fahren. Wie in Fig. 7 angedeutet, wird mit den Bodenfräseplatten 112 das zu behandelnde Erdreich aufgewirbelt und durch die innerhalb der Gehäusewand 114 gebildete Behandlungskammer 121 geschleudert. In diesem Zustand wird das aufgewirbelte Erdreich mit einem Gemisch von Wasser, Nährlösung bzw. Nährdispersion und Mikroorganismen besprüht und mit der in der Behandlungskammer 121 vorhandenen Luft intensiv vermischt. Das Gemisch von besprühtem Erdreich und Luft wird dann hinter der Reihe von Bodenfrägerscheiben 112 zu einer neuen intensiv aufgelockerten und mit Luft durchsetzten Schicht 61' abgelegt.

Durch diese intensive Durchwirbelung und Durchlüftung kann unter Benutzung eines Erdreich-Durchwirbelungsgerätes 110 eine Schicht 61 auf die Bodenplatte 13 gelegt werden, die wesentlich höher als die üblicherwei-



se mit 30 cm Höhe anzusetzende Behandlungsschicht ausgebildet ist, beispielsweise mit doppelter Höhe.

Das Erdreich-Durchwirbelungsgerät 110 kann sich über die gesamte Breite der Bodenplatte 13 erstrecken. Es ist aber auch im Rahmen der Erfindung möglich, das Erdreich-Durchwirbelungsgerät als ein auf Rädern fahrbares Behandlungsgerät an ein Zuggerät, beispielsweise einen Traktor (vergl. Fig. 9 und 10) anzuhängen und von einer Zapfwelle des Zuggerätes her die Reihe von Bodenfrässhelben anzutreiben. Aufgrund der hohen Behandlungsintensität, die mit dem Erdreich-Aufwirbelungsgerät gemäß Fig. 7 erreichbar ist, kann ein solches Zuggerät auf einer Spur neben der Laufspur des Boden-aufwirbelungsgerätes 110 laufen, allerdings auf der noch anschließend zu behandelnden Seite.

Wenn ein solches Zuggerät vorgesehen ist, können die Reservoirs 128, 129 und 130 auf dem Zuggerät angebracht sein und über eine Schlauchleitung mit der auf dem Erdreich-Aufwirbelungsgerät 110 angebrachten Beschickungsvorrichtung 116 verbunden sein.

Im Beispiel der Fig. 8 bis 10 werden auf einer Bodenplatte 13 anstelle einer Schicht Mieten 131 aus dem von der kontaminierten Stelle abgehobenen Erdreich gebildet. Bei der Bildung dieser Mieten 131 kann das Erdreich bereits erstmals intensiv mit Luft und aufgesprühtem Wasser, sowie aufgesprühtem Nährbodenmaterial und aufgegebenen Mikroorganismen vermischt werden. Die Mieten 131 erstrecken sich dabei über die Länge der Bodenplatte 13, und es ist eine Mehrzahl solcher Mieten 131 nebeneinander angebracht. Im Beispiel nach Fig. 13 sind immer zwei solcher Mieten mit geringem gegenseitigem Abstand nebeneinander angeordnet und dann ein Zwischenraum 132 gelassen, in welchem ein Zuggerät, beispielsweise ein Traktor 133 oder ein geländegängiges Fahrzeug (Unimog) fahren kann. Gemäß Fig. 12 können die Mieten 131 mit einer Schicht 60 aus biologischer Streu unterlegt sein. Die im Beispiel gemäß Fig. 2 und 3 vorgesehenen Längskapäle 16 mit porösem Körper 17 und Längsdurchlässen 18 können auch in diesem Beispiel zum Zuführen von Luft von unten her im Sinne der Pfeile 67 und zum Abführen von Wasser nach unten im Sinne der Pfeile 62 benutzt werden. Die Bildung von Mieten 131 hat jedoch den besonderen Vorteil, daß das zu behandelnde Erdreich in der Miete 131 auch von dem oberhalb der Grundplatte 13 gebildeten Luftraum 46 her belüftet wird, wie dies durch die Pfeile 134 angedeutet ist. Außerdem wird durch die Mieten 131 die an dem zu behandelnden Erdreich gebildete Oberfläche wesentlich vergrößert, so daß auch die von den Leuchten 50 ausgehende Strahlung verstärkten Einfluß auf das zu behandelnde Erdreich und die in ihm aufgenommenen Mikroorganismen ausübt.

Um die Mieten oftmals von oben her zu befeuchten, können an einem sich quer über die Grundplatte 13 erstreckenden balkenartigen Gerüst Sprühdüsen 30 angebracht sein, mit welchen Wasser über die Mieten 131 gesprüht wird. Im Hinblick auf die Höhe der Mieten 131 und die erhöhte Luftzufuhr aus dem Luftraum 46 zu den Mieten 131 und nicht zuletzt im Hinblick auf die bessere Verteilung des aufgesprühten Wassers auf die Mieten 131 wird man in diesem Beispiel das balkenartige Gerüst und die Abdeckung 45 höher ausbilden als im Beispiel der Fig. 3.

Wie aus den Fig. 9 und 10 ersichtlich, wird man in diesem Beispiel des Erdreich-Aufwirbelungsgerätes 110 in Art eines Mieten-Umsetzgerätes ausbilden. Hierzu ist ein eigentliches Umsetz- oder Behandlungsgerät 135 vorgesehen, das von einem Zuggerät, beispielsweise ei-

nem Traktor 133, gezogen und über die Zapfwelle 136 des Traktors 133 angetrieben wird. Das Umsetz- und Behandlungsgerät 135 trägt auf seinem Rahmen 115 die Reservoirs für Wasser, Nährlösung bzw. Nährdispersion und Mikroorganismen sowie die Zuführungsvorrichtung als eine Zuführungseinheit 116, die von der Stromquelle des Traktors her elektrisch angetrieben sein kann.

Das Umsetz- und Behandlungsgerät 135 enthält, ähnlich wie das Erdreich-Durchwirbelungsgerät 110 nach Fig. 7, eine Reihe von Bodenfrässhelben 112, aber zusätzlich noch in Transportrichtung vor der Reihe von Bodenfrässhelben 112 zwei Förderschnecken oder Förderfräsen 137, die das zu behandelnde Erdreich von den Seitenbereichen der Miete 131 her in den Arbeitsbereich der Bodenfrässhelben 112 fördern. Ferner ist eine Sprühdüse 120 in entsprechender Weise wie im Beispiel der Fig. 7 oberhalb der Reihe von Bodenfrässhelben 112 angebracht. Auch bei diesem Mieten-Umsetzgerät wird eine intensive Durchmischung des zu behandelnden Erdreiches mit Luft und aufgesprühtem Wasser, aufgesprühter Nährlösung bzw. Nährdispersion und aufgegebenen Mikroorganismen vorgenommen. Im Unterschied zu dem Erdreich-Durchwirbelungsgerät 110 nach Fig. 7 ist das Mieten-Umsetzgerät an seinem vorderen Gehäuseteil 138 in Art eines Einlaßtrichters für die Miete und an seinem rückwärtigen Gehäuseteil als Mieten-Formwand 139 ausgebildet. Zwischen beiden Gehäuseteilen ist die in Fig. 14 geschnitten dargestellte Behandlungskammer 121 gebildet.

Mittels des Erdreich-Umwirbelungsgerätes 110 bzw. Mieten-Umsetzgerätes wird die Biodegradationsstufe wesentlich verbessert und die Zeit für den biologischen Abbau wesentlich verkürzt. Mit dem Erdreich-Umwirbelungsgerät 110 bzw. Mieten-Umsetzgerät wird eine erhebliche Anreicherung von Sauerstoff in dem zu behandelnden Erdreich erzielt und gleichzeitig Zerkleinerung des Erdreiches bewirkt, so daß eine erheblich bessere Sorption und Zugänglichkeit des Sauerstoffs eintritt. Im Arbeitsgang dieses Gerätes wird das Erdreich zugleich in gewünschtem Ausmaß befeuchtet, wobei durch die Anbringung der Düsen oberhalb des Fräswerkzeuges das Eindüsen der flüssigen Bestandteile während des Verwirbelungsvorganges erfolgt und damit eine intensive und gleichmäßige Verteilung der Feuchtigkeit, des Nährbodenmaterials und der Mikroorganismen in dem zu behandelnden Erdreich hervorruft.

Anstelle der oben beschriebenen Anlage läßt sich das Verfahren zur kombinierten anaeroben und aeroben Behandlung von kontaminiertem Erdreich auch beispielsweise mit kombinierten Anlagen ausführen, bei welchen die anaerobe Behandlung in Großbehältern in Art von Faultürmen durchgeführt wird, während die aerobe Behandlung, beispielsweise in Drehröhr-Behandlungsanlagen erfolgt, wie dies beispielsweise in der älteren Patentanmeldung P 37 20 833.0 angegeben wird.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Rekultivierungsbehandlung von xenobiotisch-kontaminiertem Erdreich durch Einbringen von die jeweilige Verunreinigung bzw. das jeweilige Xenobiotikum abbauende Mikroorganismen ggf. zusammen mit Nährstoffen für diese Mikroorganismen in das zu behandelnde Erdreich und Erzeugen günstiger Lebens- und Vermehrungsbedingungen für die eingebrachten Mikroorganismen



in dem zu behandelnden Erdreich, wobei das zu behandelnde Erdreich von der kontaminierten Stelle abgehoben und auf einer bezüglich Übertritt von Flüssigkeit und Gasen zumindest gegenüber dem Untergrund abgetrennten Unterlage mit Wasser und mit entsprechenden, den jeweiligen kontaminierenden Verunreinigungen und/oder Xenobiotica ausgewählten Mikroorganismen und entsprechend Erfordernis auch mit Nährstoffen für diese Mikroorganismen beschickt wird, gekennzeichnet durch die Kombination von mindestens zwei in zeitlicher Aufeinanderfolge ausgeführten Behandlungsabschnitten unterschiedlicher Art, nämlich Biodegradation anaerober Art und Biodegradation aerober Art.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zu behandelnde Erdreich entsprechend dem Ergebnis von an ihm ausgeführten Voruntersuchungen hinsichtlich der Art seiner Kontaminierung und hinsichtlich seiner Konsistenz und die für die gemäß der Art der Kontaminierung zu wählenden Art des zuerst auszuführenden Biodegradations-Behandlungsabschnittes eingestellt und nach Durchführung dieses gewählten ersten Biodegradations-Behandlungsabschnittes vor jedem danach auszuführenden weiteren Biodegradations-Behandlungsabschnitt in eine für die Art des jeweils folgenden Biodegradations-Behandlungsabschnittes erforderliche Konsistenz übergeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das zu behandelnde Erdreich für anaerobe Biodegradations-Behandlung in schlammartige Konsistenz und für aerobe Biodegradations-Behandlung in für gasförmige Medien durchgängige, krümelig feuchte Konsistenz eingestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Einstellen der Konsistenz durch Zugabe von im wesentlichen Wasser zu dem Erdreich bzw. durch Abziehen von Flüssigkeit von dem Erdreich vorgenommen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß während des einen oder anderen Biodegradations-Behandlungsabschnittes und bei Konsistenz-Einstellung von dem zu behandelnden Erdreich abgezogenes Wasser nach Beseitigung von eventuell mitgeführten Kontaminationen in Behandlungsabschnitten mit Wasserbedarf dem zu behandelnden Erdreich mit oder ohne Zugabe von Behandlungsstoffen und/oder Mikroorganismen wieder zugeführt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Biodegradationsanlage, insbesondere auf dem zu behandelnden Erdreich niedergegangenes Regenwasser aufgefangen bzw. von dem zu behandelnden Erdreich abgezogen und nach Beseitigung von eventuell mitgeführten Kontaminationen in Behandlungsabschnitten mit Wasserbedarf dem zu behandelnden Erdreich mit oder ohne Zugabe von Behandlungsstoffen und/oder Mikroorganismen zugeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die bei Beginn jedes einzelnen Biodegradations-Behandlungsabschnittes in das Erdreich eingeführten Mikroorganismen der dafür vorgesehenen Art während des Ablaufs des jeweiligen Biodegradations-Behandlungsabschnittes nachdosiert und/oder durch Zugabe von

Mikroorganismen anderer Art und/oder anderer Spezies ergänzt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß Consortien von in anaerober Biodegradation synergistisch zusammenwirkenden Mikroorganismen vor und ggf. auch ergänzend während der anaeroben Behandlung unter Luftabschluß in das Erdreich eingeführt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikroorganismen für anaerobe Behandlung unter Anwendung von Inertgas in das Erdreich eingebracht und in diesem verteilt werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, gekennzeichnet durch den Einsatz von Methan erzeugenden Bakterien in Abschnitten anaerober Biodegradations-Behandlung.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, gekennzeichnet durch den Einsatz von chemoautotrophen Bakterien in Zusammenwirken mit anderen Organismen zum Ingangsetzen von Schwefel-, Stickstoff- und Eisenzyklen in Abschnitten anaerober Biodegradations-Behandlung.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß während der Biodegradation entstehende brennbare Gase aufgefangen und zur Erzeugung von während der Biodegradations-Behandlung dem zu behandelnden Erdreich zuzuführender Energie benutzt werden.

13. Anlage zur kombinierten Biodegradationsbehandlung von mit organischen Verunreinigungen und/oder anderen Xenobiotica kontaminiertem Erdreich im Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Schlammbehandlungsbecken (11) und ein mit mindestens einer Bodenplatte belegter Behandlungstrakt (12) für aerobe Biodegradationsbehandlung des Erdreichs nebeneinander angeordnet sind, wobei das Schlammbehandlungsbecken (...) an seinem Boden und an seiner Umfangswand flüssigkeitsdicht ausgebildet ist, während in der im übrigen flüssigkeitsdichten Bodenplatte (13) mit im Platteninneren vorgesehenen Kanälen (...) in Verbindung stehende poröse Plattenbereiche (16) vorgesehen und die im Platteninneren vorgesehenen Kanäle an Einrichtungen zum Abführen von Flüssigkeit und/oder Zuführen von gasförmigen Medien verbunden sind, und daß Einrichtungen (14) zum Überführen des zu behandelnden Erdreichs vom Schlammbehandlungsbecken (11) zum Behandlungstrakt (11) und/oder umgekehrt sowie am Schlammbehandlungsbecken (11) und/oder dem Behandlungstrakt (12) beweglichen Behandlungseinrichtungen (22, 110) für das Erdreich angeordnet sind.

14. Anlage nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Schlammbehandlungsbecken (11) und der Behandlungstrakt (12) für aerobe Biodegradationsbehandlung zu beiden Seiten einer Führungsbahn einer oder mehrerer Überführungsvorrichtungen (14) für das Erdreich angeordnet sind.

15. Anlage nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Schlammbehandlungsbecken (11) und der Behandlungstrakt für aerobe Biodegradationsbehandlung in ihrer Längsrichtung nebeneinander angeordnet sind und im wesentlichen gleiche Länge aufweisen, die dazwischen vorgesehene Führungsbahn (15) sich über diese Länge erstreckt und die porösen Plattenbereiche (16) als

sich über die Länge des Behandlungstraktes (12) erstreckende, zur Führungsbahn und zueinander parallele Streifen ausgebildet sind.

16. Anlage nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß oberhalb des Schlammbehandlungsbeckens (11) und des Behandlungstraktes (12) für aerobe Biodegradationsbehandlung zur Bildung getrennter verschließbarer Räume (...) anbringbare oder angebrachte Abdeckungen (45) vorgesehen sind.

17. Anlage nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine entlang der Führungsbahn (15) bewegbare, mit sich quer zum Schlammbehandlungsbecken (11) und zum Behandlungstrakt (12) erstreckenden Fördereinrichtungen für Schlamm und/oder körniges Erdreich ausgestattete Fördervorrichtung (14) vorgesehen ist, deren Förderrichtung wählbar ist.

18. Anlage nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Fördereinrichtungen bezüglich der Länge ihrer Quererstreckung über den Behandlungstrakt (12) für aerobe Biodegradationsbehandlung einstellbar bzw. verstellbar sind.

19. Anlage nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß an das über dem Schlammbehandlungsbecken (11) liegende Ende der Fördereinrichtungen (14) ansetzbare Schlammfassungseinrichtungen (24) und/oder an das über dem Behandlungstrakt (12) für aerobe Biodegradationsbehandlung liegende Ende der Fördereinrichtungen (14) ansetzbare Erdreich-Aufnahmeeinrichtungen (25) vorgesehen sind.

20. Anlage nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß über dem Schlammbehandlungsbecken (11) einstellbare oder eingestellte Inokulationseinrichtungen für Mikroorganismen in den Schlamm vorgesehen sind.

21. Anlage nach Anspruch 20, gekennzeichnet, durch eine Inokulationseinrichtung (14) für Mikroorganismen in den Schlamm, die ein lanzenartig in den Schlamm einführbares Rohr und eine an dieses Rohr angesetzte oder ansetzbare, mit komprimiertem Inertgas arbeitende Einschießvorrichtung (34) für die Mikroorganismen enthaltende, zerstörbare Ampullen (36) enthält.

22. Anlage nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Einschießvorrichtung (34) eine vor dem Rohr einstellbare Lochscheibe (37) zum Einsetzen der mit Mikroorganismen und ggf. zusätzlichem Nährmaterial für die Mikroorganismen gefüllten Ampullen und eine Einstoßvorrichtung (35) für die durch Einstellen der Lochscheibe (37) jeweils gewählte Ampulle (36) in das Rohr enthält.

23. Anlage nach einem der Ansprüche 20 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Inokulationseinrichtung (14) für Mikroorganismen auf einem über die Oberfläche des Schlammbehandlungsbeckens (11) verstellbaren Schlitten (22) angebracht ist.

24. Anlage nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Schlitten (22) mittels einer Schleppvorrichtung (21) von den Beckenrändern (...) her an die gewünschten Stellen einstellbar ist.

25. Anlage nach einem der Ansprüche 13 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß eine an ihrer Unterseite mit einer festen, gegen Wasser und Gas dichten Schicht ausgestattete Bodenplatte (13) an ihrer Oberseite mit Längskanälen (17) versehen ist, in welchen poröse Körper (16) unter Bildung von je

mindestens einem freien kanalartigen Längsdurchlauf (18) pro Längskanal (17) angebracht sind, wobei diese Längskanäle zur Bildung eines Gefälles nach einem Seitenrand (...) der Bodenplatte (13) hin ausgebildet sind oder die Bodenplatte (13) zur Bildung eines solchen Gefälles verlegbar ist.

26. Anlage nach Anspruch 25, gekennzeichnet durch über die und längs der Bodenplatte (13) verfahrenen Behandlungswagen (110) mit Einrichtungen (115-120) zum Zuführen von Wasser, Mikroorganismen und Nährstoffen für die Mikroorganismen.

27. Anlage nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß der Behandlungswagen (110) sich brückenartig über die Breite der Bodenplatte (13) erstreckt und an jeder Seite ein Fahrwerk (...) aufweist, das auf an den seitlichen Rändern der Bodenplatte (13) vorgesehenen Führungen (...) läuft.

28. Anlage nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß der Behandlungswagen (110) mit Vorschubeinrichtungen (133) ausgestattet ist, die auf gewünschte Vorschubrate des Behandlungswagens (110) längs der Bodenplatte (13) eingestellt oder einstellbar sind.

29. Anlage nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorschubeinrichtungen (...) in den Behandlungswagen (...) selbst eingebaut sind.

30. Anlage nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorschubeinrichtungen (...) ortsfest zur Bodenplatte (...) angebracht und über Zug Elemente, beispielsweise Seile, mit den Behandlungswagen (...) verbunden sind.

31. Anlage nach einem der Ansprüche 24 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß der Behandlungswagen (110) mit Vorrichtungen (112) zur mechanischen Bearbeitung der auf der Bodenplatte (13) ausgebreiteten Erdreich-Lage (131) versehen ist, die ständig an den Behandlungswagen (110) angebaut oder zeitweilig anbaubar sind.

32. Anlage nach einem der Ansprüche 26 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Bodenplatte (13) mit erhöhten Seitenrand-Streifen (15) ausgebildet ist, die an der Oberseite als Führungsbahnen für die Fahrwerke des Behandlungswagens ausgebildet sind oder solche Führungsbahnen, beispielsweise Führungsschienen tragen.

33. Anlage nach einem der Ansprüche 26 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß der Behandlungswagen (110) in Art eines sich über die Breite der Bodenplatte (13) erstreckenden, längs der Bodenplatte (13) fahrbaren, leichten Gerüsts, vorzugsweise Rohrgerüsts ausgebildet ist.

34. Anlage nach einem der Ansprüche 26 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß dem Behandlungswagen (...) stationäre Reservoirs (...) für Wasser, Nährlösung und Flüssigkeit mit Mikroorganismen sowie stationäre Pumpen (...) und von diesen zum Behandlungswagen (...) führende Schlauchleitungen (...) zugeordnet sind.

35. Anlage nach Anspruch 25, gekennzeichnet durch ein über die Bodenplatte (13) verfahrenes Erdreich-Durchwirbelungsgerät (110), das unterhalb einer eine Bearbeitungskammer (121) überdeckenden Gehäusewand (114) mindestens ein rotierendes und das Erdreich aufwirbelndes Bodenfräswerkzeug (112) und in der Gehäusewand angebrachte, in die Bearbeitungskammer (121) gerichtete Düsen (120) zum Einspritzen von Wasser, Nähr-

lösung oder Nährdispersion und Mikroorganismen enthält.

36. Anlage nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß das Erdreich-Durchwirbelungsgerät in Art eines Mieten-Umsetzgerätes eine Gehäusewand aufweist, die am Einlaß zur Behandlungskammer (121) in Art eines Einlaßtrichters (138) und am Auslaß von der Behandlungskammer (121) als Mieten-Formwand (139) ausgebildet ist. 5

37. Anlage nach Anspruch 35 oder 36, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Behandlungskammer (121) oder in deren Einlaßbereich eine in das zu behandelnde Erdreich (61) greifende Feuchtigkeits-Meßsonde (122) angebracht ist, die mit einer Mengen-Steuerungsvorrichtung (123) für die Wasserquelle verbunden ist. 10 15

38. Anlage nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß die Feuchtigkeits-Meßsonde (122) scheibenartig, vorzugsweise als rotierende Scheibe, ausgebildet ist. 20

39. Anlage nach einem der Ansprüche 35 bis 38, dadurch gekennzeichnet, daß das Erdreich-Durchwirbelungsgerät (110) ein mit Zapfwelle (136) ausgestattetes Zuggerät (133) und ein an das Zuggerät anhängbares und mit dem Antrieb für das Bodenfrässwerkzeug (112) an die Zapfwelle (136) anschließbares Bearbeitungsgerät sowie Reservoir für Wasser, Nährlösung oder Nährdispersion und Mikroorganismen und Zuführungsleistungen und Steuerventile (125 bis 127) zum Zuführen des Wassers, der Nährlösung bzw. Nährdispersion der Mikroorganismen von den Reservoir (128 bis 130) zu den in der Gehäusewand des Bearbeitungsgerätes (110) angebrachten Düsen (120) enthält. 25 30

40. Anlage nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Reservoir (128 bis 130) für Wasser, Nährlösung oder Nährdispersion und Mikroorganismen auf dem Zuggerät angebracht sind. 35

41. Anlage nach Anspruch 39 oder 40, dadurch gekennzeichnet, daß eine auf dem Bearbeitungsgerät (110) angebrachte Mischpumpe (117) für Wasser, Nährlösung oder Nährdispersion und Mikroorganismen vorgesehen ist, deren Saugstutzen mit den Zuführleitungen für Wasser, Nährlösung oder Nährdispersion und Mikroorganismen und deren Druckstutzen mit einer zu den Druckdüsen (120) führenden Verteiler-Druckleitung verbunden ist. 40 45

50

55

60

65

- Leerseite -

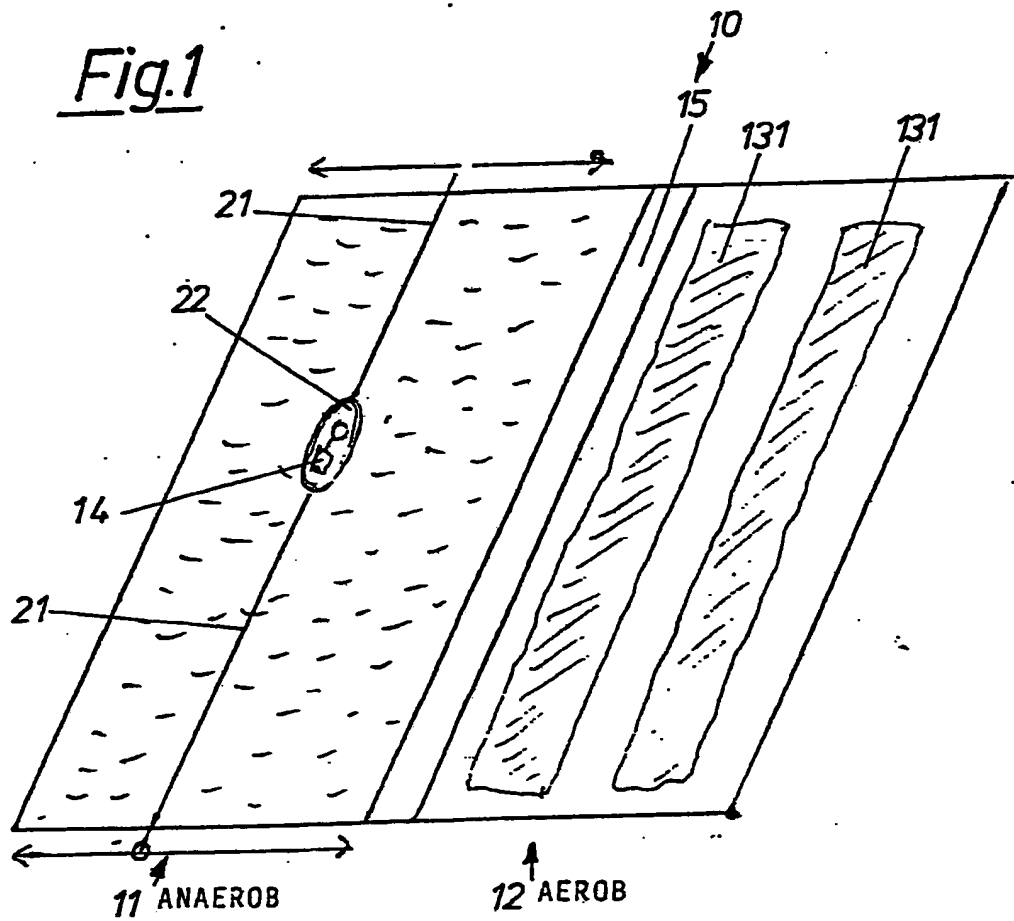
Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

38 18 398  
A 01 B 79/00  
31. Mai 1988  
14. Dezember 1989

26

3818398

Fig.1

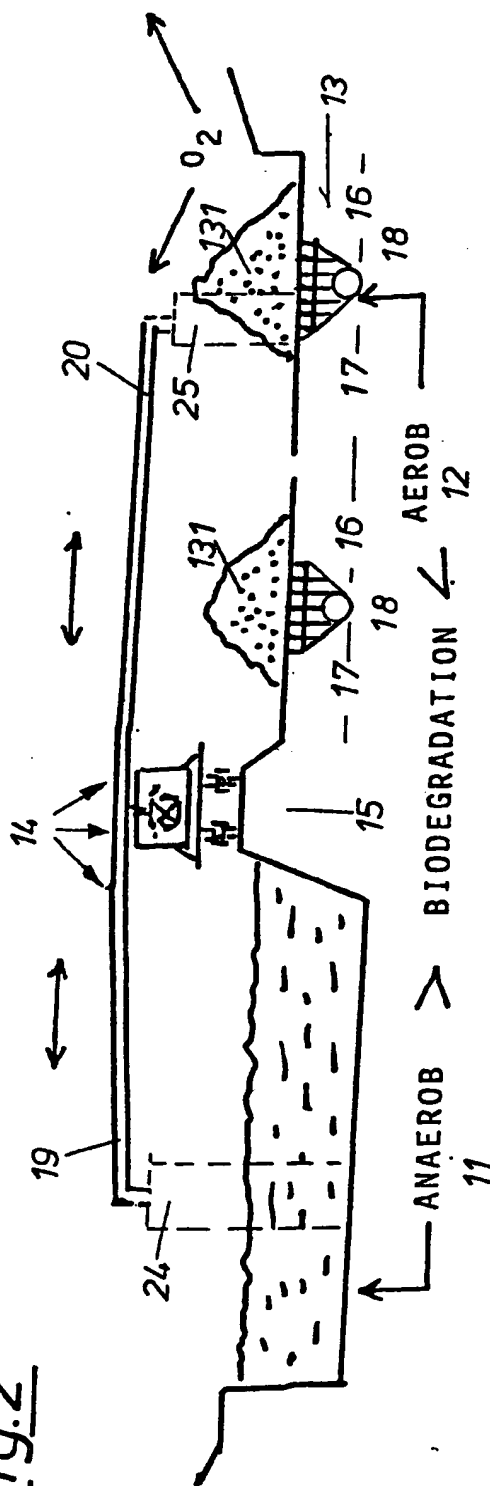


31.05.88

37

3818398

Fig.2



3818398

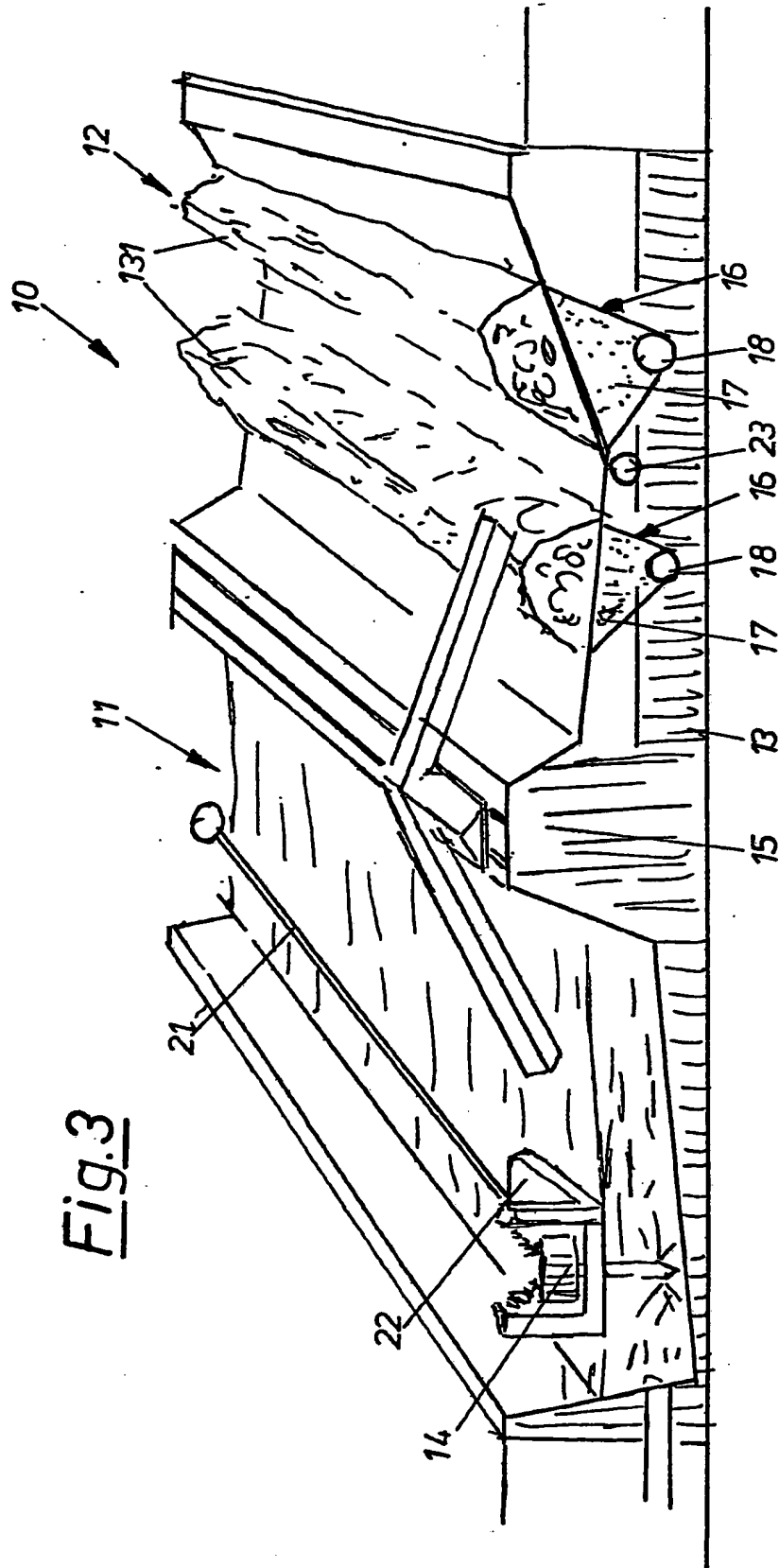


Fig. 3



31.05.88

39

3818398

Fig.4

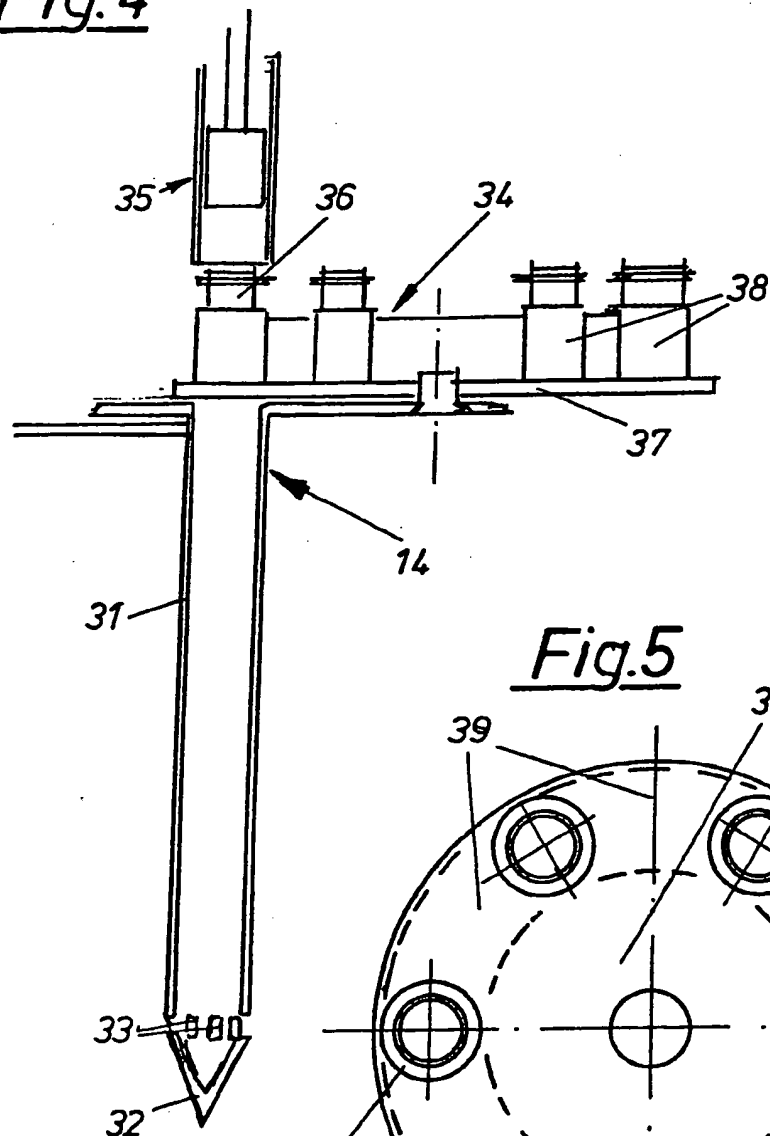
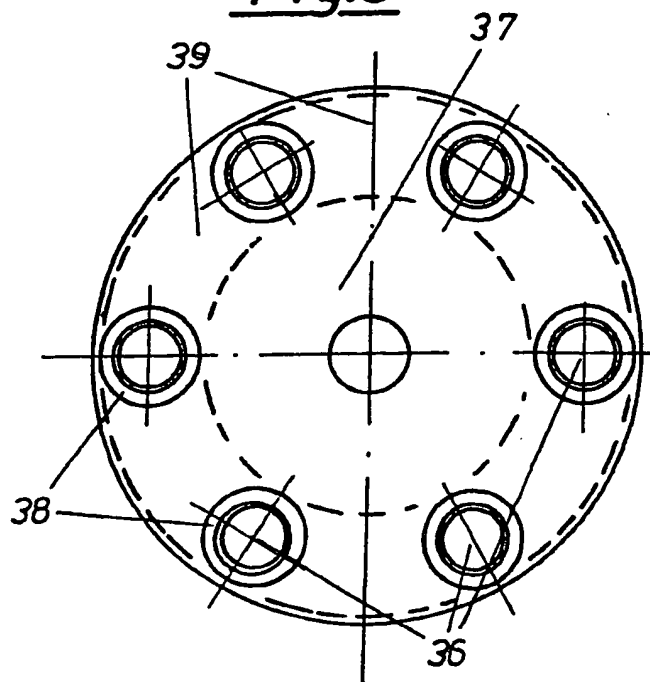
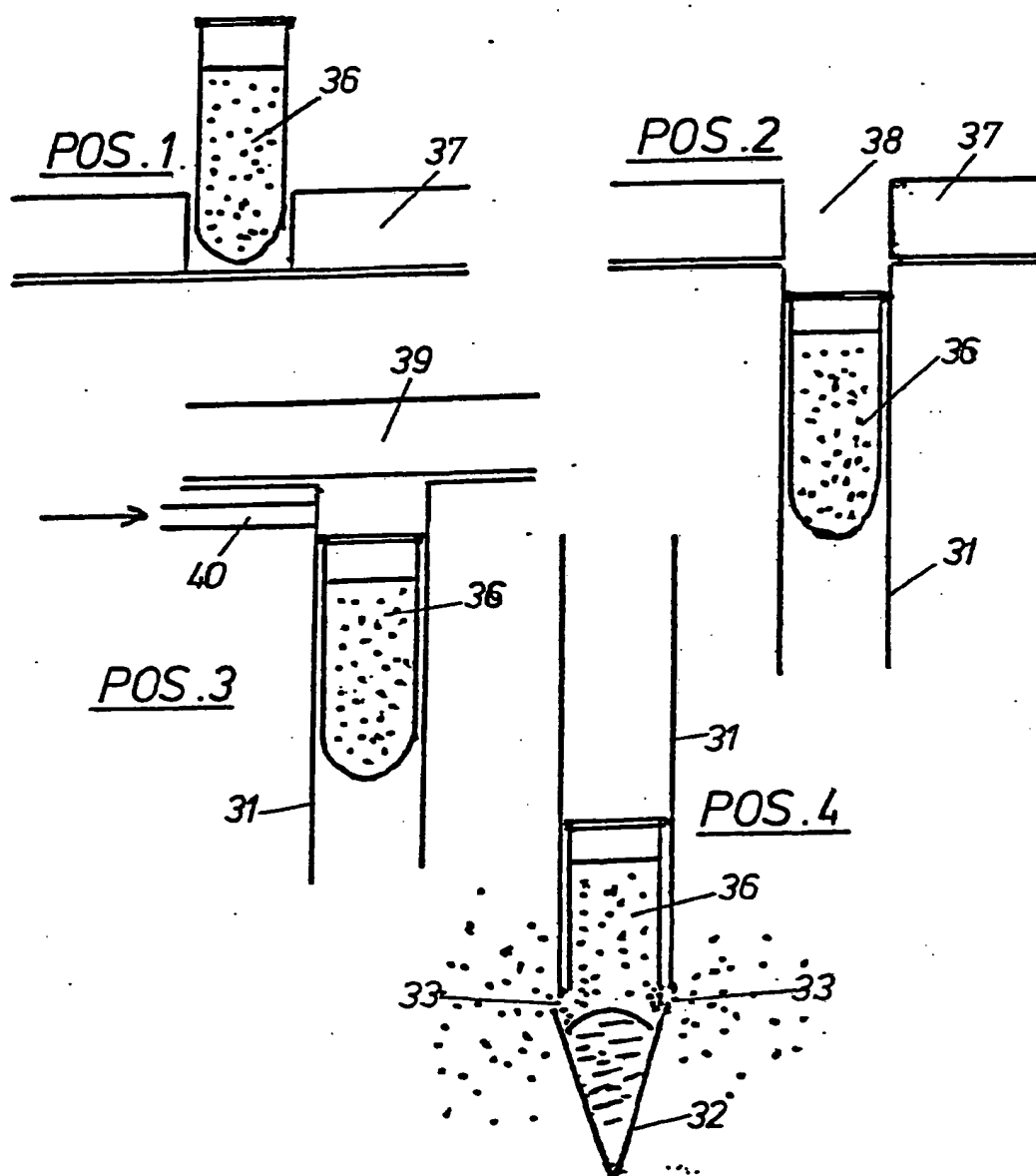


Fig.5



3818398

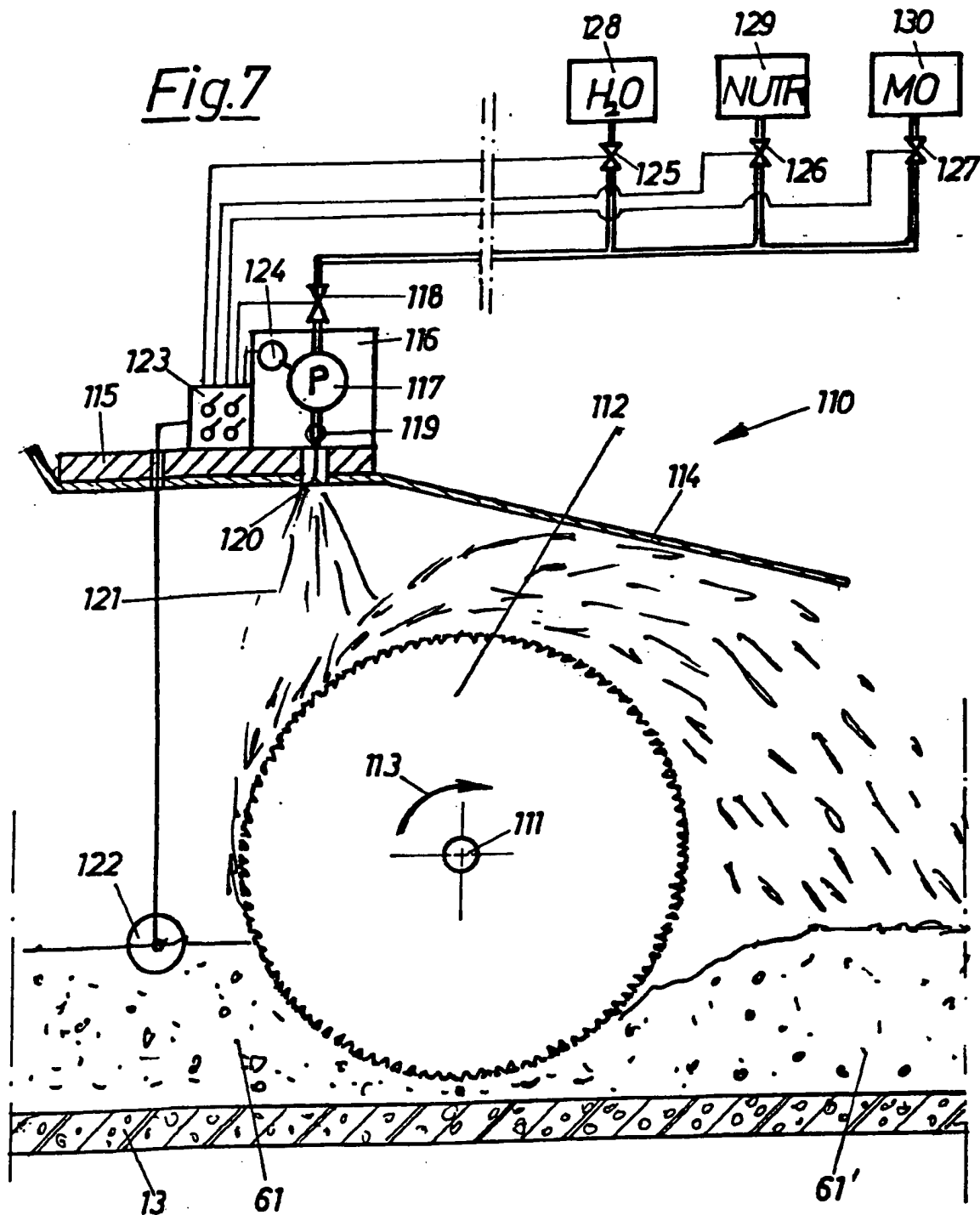
Fig.6

31.05.88

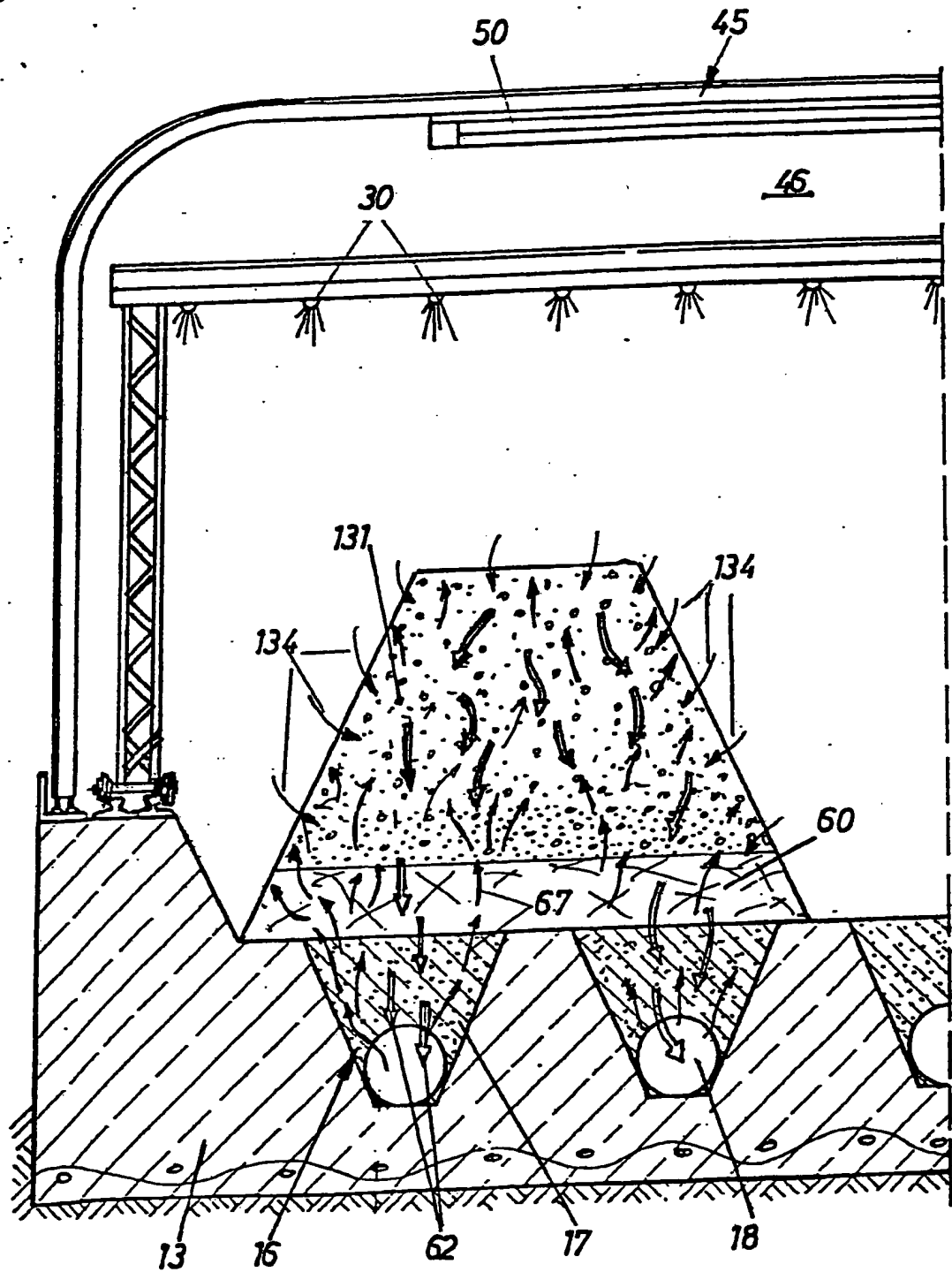
9/1

3818398

*Fig.7*



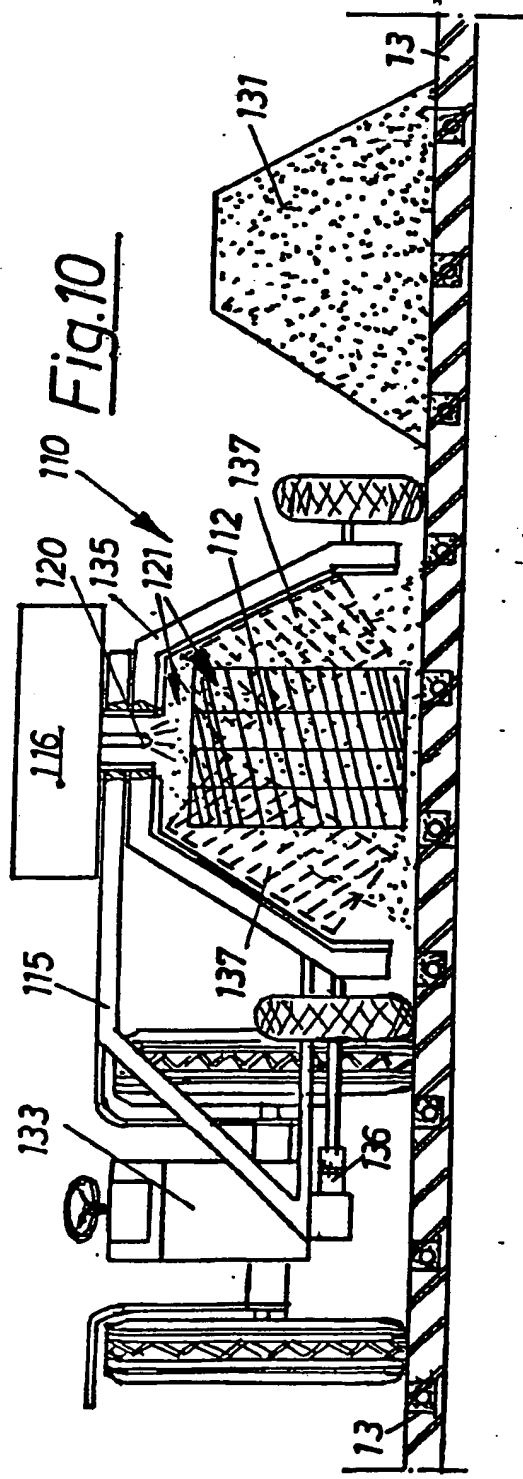
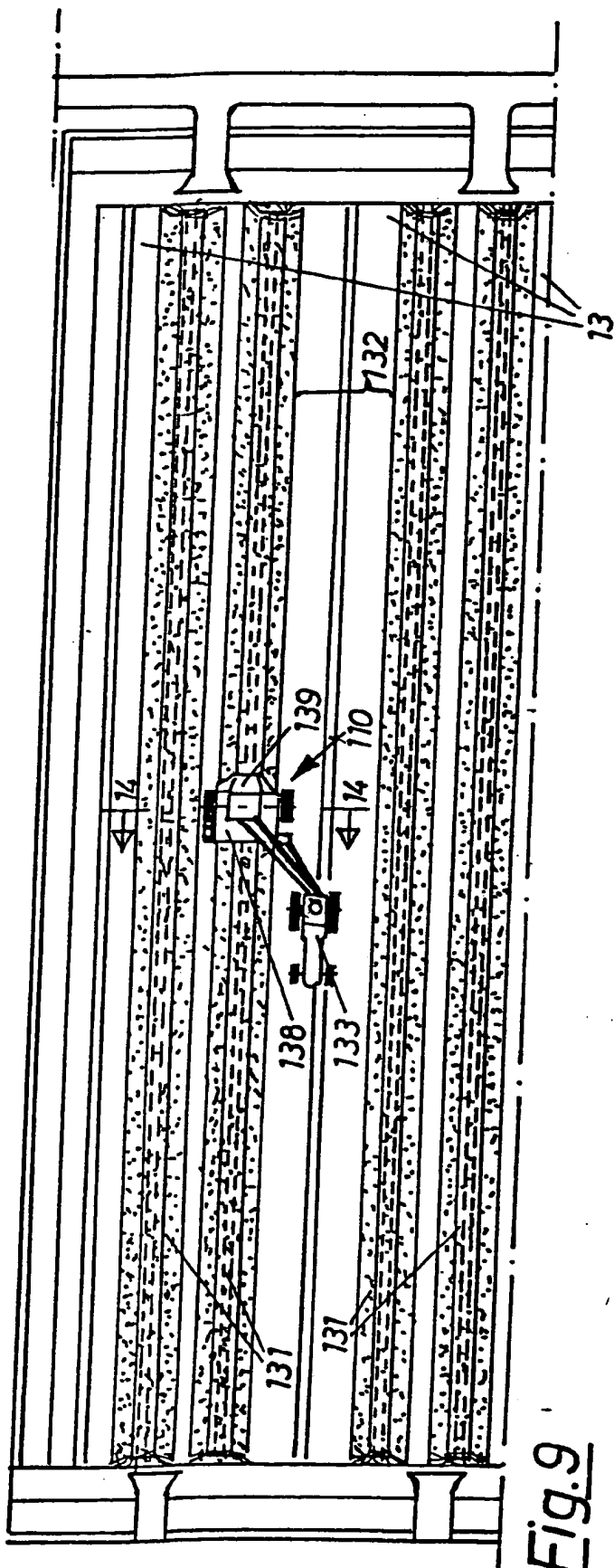
3818398

Fig. 8

310542

c/3

3818398



(19) **FEDERAL  
REPUBLIC OF  
GERMANY**



**GERMAN  
PATENT OFFICE**

(12) **Patent Specification**  
(10) **DE 38 18 398 A1**

(21) File: P 38 18 398.6  
(22) Application Date: 5/31/1988  
(43) Publication Date: 12/14/1989

(51) Int. Cl.<sup>4</sup>:  
**A 01 B 79/00**  
**A 01 B 77/00**  
**C 12 M 1/00**  
**C 09 K 17/00**

Patent Specification modified following opposition procedure

(71) Applicant:  
Xenex Gesellschaft zur biotechnischen  
Schadstoffsanierung mbH, 5860 Iserlohn,  
DE

(74) Agent:  
Seids, H., Civil Physicist, Patent Attorney,  
6200 Wiesbaden

(72) Inventor:  
Dr. Karl Bisa, 5948 Schmallenberg, DE;  
Siegfried Paroth, 5860 Iserlohn, DE

(54) Process and plant for recultivation treatment of xenobiotically contaminated soil by means of microorganisms

In a combined process for biological recultivation treatment, soil contaminated with xenobiotics is removed from the contaminated site and placed in a combined treatment plant, in which the soil to be treated is subjected to an anaerobic treatment on the one hand and a temporally separate aerobic treatment. The sequence of anaerobic treatment and aerobic treatment can be chosen corresponding to the type of contamination. Several anaerobic treatment operations and aerobic treatment operations in alternation can also be provided.

A combined treatment plant can be equipped, for example, with a sludge treatment pond for anaerobic treatment and an adjacent treatment tract for aerobic treatment. Plants in which closed bulk storage tanks, for example of the digestion tower type for anaerobic treatment and of the rotating cylinder type for aerobic treatment, are combined are also possible.

## Description

The invention involves a process and a plant for recultivation treatment of xenobiotically contaminated soil via introduction of microorganisms that break down the respective contaminants or the respective xenobiotic, if necessary together with nutrients for said microorganisms, to the soil to be treated and creation of favorable living and breeding conditions for the microorganisms introduced to the soil to be treated, the soil to be treated being removed from the contaminated site and being fed with water and with selected microorganisms corresponding to the respective contaminating contaminants and/or xenobiotics and, corresponding to the requirement, also additionally with nutrients for said microorganisms on a bed separated from at least the subsoil with respect to the passage of liquid and gases.

The clean-up of xenobiotically contaminated soil by microorganisms is becoming increasingly more important, because such clean-up is intended to entail no additional stress on the environment and a definitive storage without further limitation becomes possible. An aerobic biodegradation for the clean-up of xenobiotically contaminated soil has already been proposed, for which approximately 90 suitable species of microorganisms are available, whose enzymatic systems — usually in cooperative consortia — have a targeted ability to take over the food chain of the xenobiotics to be broken down. They use molecular oxygen as the energy source for said process. The microbial attack of the aerobic process technology is directed primarily at hydrocarbon compounds, which require a special decontamination, because they represent a potential environmental risk.

For the clean-up of waste water, subjecting sewage sludges which contain primarily contaminants of organic origin to a biodegradation of their contaminants in anaerobic processes, such as digested sludge processes, is well known. For this purpose methanogenic bacteria are primarily used, of which approximately 20 species have so far been identified. These methanogenic bacteria are suitable for converting many types of organic substances to methane and carbon dioxide.

Based on this prior art, the purpose of the invention is to improve substantially the clean-up of xenobiotically contaminated soil by means of microorganisms and to increase substantially the range or number of biodegradable pollutants.



In accordance with the invention, this purpose is realized by the combination of at least two successively executed treatment phases of different types, namely biodegradation of the anaerobic type and biodegradation under aerobic conditions.

Until now the dominant opinion has been that such impurities, especially impurities of organic origin, are less harmful in the soil because they disappear over the course of time via putrefaction and humus formation. However, it has actually been found that a large number of pollutants can be present in contaminated soil which do not disappear in a natural manner in the soil via putrefaction or humus formation. In particular, the invention makes possible several functional interactions of aerobic and anaerobic biodegradation, which in many cases result in a complete course of biodegradation cycles, while the previously proposed purely aerobic biodegradation treatment more often resulted in the retention of several intermediates in the treated soil, where these intermediates can no longer be further degraded via aerobic biodegradation but nonetheless constitute a xenobiotic residual contamination of the treated soil, which still has to be taken seriously. Similar behavior is observed in digested sludges treated according to the known anaerobic processes.

The combination of successive anaerobic biodegradation treatment and aerobic biodegradation treatment which characterizes the process in accordance with the invention can be adapted optimally via the type and scope of the xenobiotic contamination of the soil to be treated. With this process, the first biodegradation treatment phase can optionally be of the anaerobic type if the contaminants determined in the soil to be treated are to a large degree of organic origin, or can generally be preferably attacked by anaerobic biodegradation. The choice of the first biodegradation treatment phase as anaerobic treatment will be especially applicable when the contaminants contained in the soil to be treated that can be attacked in anaerobic biodegradation would impede the biodegradation of the aerobic type of all contaminants or of several contaminants to be attacked in an aerobic process.

Conversely, in the scope of the invention the first biodegradation treatment phase can also be provided as aerobic biodegradation if the soil to be treated contains contaminants of such a type that are degradable via aerobic biodegradation and would impede the degradation of other contaminants in anaerobic biodegradation. One possible example in such a context is the treatment of soil contaminated to a large degree by mineral oil hydrocarbons and their

derivatives. In case the type of contamination of the soil to be treated is not critical for the choice of the first biodegradation treatment phase, in the scope of the invention the choice of the first biodegradation treatment phase can be based on the respectively indicated consistency of the soil to be treated. If the initial state of the soil to be treated is more or less sludgy, an anaerobic biodegradation treatment can be chosen as the first biodegradation treatment phase, while an aerobic biodegradation treatment should be applied as the first treatment phase for soil to be treated that is in a relatively dry state at the beginning of the treatment.

The number of successive, different biodegradation treatment phases in the scope of the invention can be chosen from case to case and adjusted to the requirements. In particular, one will provide a third or fourth biodegradation treatment phase if the second or third biodegradation phase produces intermediates that require a biodegradation treatment of a different type for further degradation. One conceivable example is a first biodegradation treatment phase of the aerobic type followed by a biodegradation treatment phase of the anaerobic type, intermediates being produced or being residual in this second treatment phase, making yet another aerobic biodegradation treatment necessary. Similar examples are also conceivable for the sequence of anaerobic biodegradation-aerobic biodegradation, with anaerobic biodegradation as after-treatment. Analogous examples are also conceivable in which the first two different biodegradation treatment phases are followed by two, once again alternating, biodegradation treatments of different types.

In accordance with the invention, the sequence of biodegradation treatment phases of different types is accompanied by the rearrangement of the consistency of the soil to be treated, which takes place between the successive, different treatment phases. Clean-up measures can also be incorporated into such a rearrangement of consistency, for example the leaching-out of e.g. water-soluble pollutants from the soil that are produced during the preceding biodegradation.

The water metabolism can be optimized in the process in accordance with the invention. During the transition from a sludgy to a friable, moist consistency of the soil, water will naturally have to be drained off. At the end of the aerobic biodegradation treatment phases, rinsing the treated soil with water as a final treatment or also as a pretreatment to the transition in converting the soil to a sludgy consistency for a subsequent anaerobic biodegradation treatment is possible. In the scope of the invention, all water which is drained off from the soil involved in the

treatment in this or any other treatment method should be collected and analyzed for contaminants and also purified of contaminants, depending on the result of the analysis. This also applies to rain water that falls on the soil to be treated or on the treatment plant or areas directly adjacent to it. Collecting, analyzing and perhaps purifying the rain water ensures that no contaminated water reaches the subsoil. Moreover, the collected, analyzed and perhaps purified water is valuable in that it can be recycled into the process for another biodegradation treatment phase. Moreover, treatment substances and/or microorganisms can be added to the water fed to the one or other biodegradation treatment phase, which substances and/or microorganisms can remain in the water if it is recycled into the process for an identical or similar biodegradation treatment phase.

At the beginning of each individual biodegradation treatment phase, one will preferably introduce microorganisms of the genus intended for said treatment phase to the soil involved in the treatment. However, such microorganisms can also be redosed and/or supplemented via addition of microorganisms of different genus and/or different species during the course of the respective biodegradation treatment phase.

The biodegradation in anaerobic and aerobic environment can preferably be carried out by means of selective and specially adapted microorganisms that originate from the respective habitat and are acclimated to increasing concentrations of substances to be degraded by means of known microbiological methods. The microorganisms can thus acquire enzymatic abilities in order to incorporate the pollutants in their food chain. One will preferably use consortia of microorganisms, for both anaerobic biodegradation and aerobic biodegradation, which can be acclimated not only to the substances to be degraded but also to each other in order to bring about synergistic actions. For example, consortia of methanogenic anaerobic bacteria of the following genera can thus be formed:

Genus	Species
Methanobacterium	M. soehngenii
	M. ruminantium
Methanosarcina	M. mobile

	M. methanica
Methanococcus	M. mazel
occurrence:	anaerobic waste, sewage sludge

There are also ecological interactions of chemoautotrophic bacteria with other organisms, which initiate sulfur, nitrogen and iron cycles.

Desulfovibrio	D. desulfuricans
Nitrobacter	N. winogradskyi
Peptococcus	P. niger

(The peptococci can use protein hydrolyzates as their only energy source).

In such ecological interactions of chemoautotrophic bacteria with other organisms, CO<sub>2</sub> is reduced primarily via the Calvin cycle.

The anaerobic microorganisms have a wide variety of habitats in which degradation of material of organic origin occurs.

The methanogenic bacteria occupy the terminal niche in the electron transport which is produced by anaerobic degradation of organic material.

The fermentation of organic material produces primarily hydrogen and CO<sub>2</sub> and also volatile fatty acids. The methanogenic bacteria influence the entire anaerobic metabolism of organic compounds with complete dissimilation to methane and CO<sub>2</sub>. Anaerobic regions accordingly contain numerous organisms that assume a significant ecological role, in that they convert insoluble organic material to soluble compounds and gases, which can then be further broken down in the aerobic region.

In a corresponding manner, consortia can also be formed in the aerobic biodegradation treatment phases, which can be selected, for example, from the following microorganisms:

Candida sp.  
Aureobasidium pullulans  
Myrothecium verrucaria

Cladosporium cladosporioides

Saccoromyces sp.

Aspergillus sp.

Rhodotorula sp.

Candida lipolytica

Micrococcus sp.

Nocardia sp.

Pseudomonas

Flavobacterium sp.

Corynebacterium sp.

Arthrobacter sp.

yeasts

Acrochromobacter sp.

Sarcina sp.

Bacillus sp.

Streptomyces sp.

Soil nutrients which are already known to be suitable for these microorganisms are possible for these microorganisms or for consortia composed of such microorganisms. Examples of such nutrients are:

#### Nutrient solution I

citric acid	0.5
mannitol	1.0
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1.0
aspartic acid	0.2
MgSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	0.2
superphosphate	1.0
urea	3.0

lecithin	6.0
water	1000.0

#### Nutrient solution II

commercial soil nutrient adjusted to the respective bacterium genus ("Difco")	23.0 g
yeast extract	3.0 g
ethylene glycol	5.0 ml
glucose	5.0 g
agar-agar	15.0 g
distilled water	1000 ml

The process in accordance with the invention is distinguished by a large number of procedural peculiarities and by a large number of additional procedural peculiarities and a large number of additional attained advantages, as the following viewpoints show:

- A. The anaerobic degradation process is especially suitable for contaminated sludge, because the conditions involve an extensive depletion of oxygen with increasing depth. The optimum process conditions can easily be controlled with maintenance of temperature and moisture. A primarily dry soil can be appropriately converted to a sludge state via moistening.
- B. The degradation stage and the conversion rate are dependent on the size of the microbial population and their activity potential. Since the degradation rate in an anaerobic process is relatively slow, the habitat must be enriched. Cooperatively and synergistically effective, especially adapted groups of microorganisms are suitable for this purpose.
- C. The treatment environment is inoculated via insertion of glass ampules which contain anaerobic microorganisms under preserving conditions. The ampules are loaded in a hollow lance and driven into the sludge by means of a compressed inert gas. The anaerobic microorganisms are thereby freed from the broken ampules and distributed into the surrounding area by the propulsive energy.

An arbitrary number of inoculations at statistically favorable points of the distribution area produces zones of increased activity for the microbial conversion of organic residues to methane and carbon dioxide.

D. A biotechnically improved process control is achieved with an extensive automatization of the inoculation. While the anaerobic microorganisms with additional nutrients are made available in the glass ampules, the ampules are arranged on a perforated disk so that the disk can be pushed into the probe by a piston, which is propelled with inert gas, and inserted in the sludge. Rotating the magazine makes available a new ampule with the inoculate for insertion.

The entire apparatus is mounted on a sled, which is pulled across the sludge by means of a suitable device. Using a corresponding control system, the time intervals and the frequency of the inoculations at chosen points can be automated.

E. Under normal conditions, the anaerobic treatment stage precedes aerobic biodegradation. However, in the presence of hydrocarbon compounds in high concentrations, anaerobic degradation can be disturbed. In such cases the anaerobic biodegradation is postponed so that an extensive clean-up of not only the hydrocarbons, but also of the organic compounds is achieved.

F. The spatially separate measures of anaerobic and aerobic biological processes can be carried out so as to save space and be synchronized if the treatment target, the recultivation area, is set up accordingly. The plant consists of two rectangular ponds with impermeable subsoil. The upper part of a pond is fed with contaminated soil, while the lower part serves as a cool-down pond. The anaerobic biological treatment is carried out in this pond. After this step is completed, the treated soil can be fed to the area of the aerobic biodegradation step.

G. A combined reactor makes possible the alternating feeding of the aerobic and anaerobic treatment areas.

H. The energy requirement for the anaerobic conversion is relatively small, since no aeration or mixing of the material has to take place. The ensuing biogas can be utilized with suitable equipment. It can be used to optimize the aerobic biodegradation process, which requires heating.



I. The water metabolism of the recultivation plant is controlled in such a manner that accruing rain water, or percolating water that exceeds the field capacity, is fed back to the system or stored as needed, thus preventing an extensive contamination by drainage water.

For carrying out the process in accordance with the invention, a plant for the combined biodegradation treatment of contaminated soil is especially suitable, which is characterized in that a sludge treatment pond and a treatment tract for aerobic biodegradation treatment of the soil, covered with at least one base plate, are arranged adjacent to each other, the bottom and the circumferential wall of the sludge treatment pond being constructed to be liquid-impermeable, while porous plate areas connected to channels provided in the plate interior are provided in the otherwise liquid-impermeable base plate and the channels provided in the plate interior are connected to apparatus for the withdrawal of liquid and/or feeding of gaseous media. Such a plant is further characterized in that apparatus are arranged for the transfer of the soil to be treated from the sludge treatment pond to the treatment tract and/or vice versa and also that movable treatment apparatus for the soil are arranged at the sludge treatment pond and/or the treatment tract. With such a plant the contaminated soil to be treated is safely separated from at least the subsoil, so that no contaminating substances whatsoever can pass from the soil to be treated to the subsoil, or specifically, can be carried over from the soil to be treated to the subsoil via passage of liquid. Inside this plant the soil to be treated can be conveyed back and forth between the sludge treatment pond and the treatment tract, or vice versa, once or several times, depending on the type of treatment chosen.

To make possible a simple transfer between anaerobic biodegradation treatment and aerobic biodegradation treatment, without considerable time expenditure, it is recommended that the sludge treatment pond and the treatment tract be arranged on both sides of a guideway for one or more transfer devices for the soil. For this purpose, an arrangement in which the sludge treatment pond and the treatment tract are adjacent longitudinally and have essentially the same length, the guideway provided between them runs along this length and the porous plate areas of the treatment tract are constructed as strips parallel to the guideway and each other and run along the length of the treatment tract, is especially advantageous. In this manner the soil removed from the sludge treatment pond can be placed by the transfer device moving on the guideway

directly on such a strip-shaped porous plate area, where the water can be quickly drained off from the sludgy material so that the soil can be converted very quickly to the friable, moist consistency suitable for the aerobic biodegradation treatment.

Attachable or attached coverings can be provided above the sludge treatment pond and the treatment tract for the formation of separate sealable rooms. With these coverings the optimum biodegradation conditions can be better ensured. The covering over the sludge treatment pond can simultaneously be part of a collecting and recovering setup for combustible gases, especially methane.

To make possible the transfer of the soil to be treated, alternatively from the sludge treatment pond to the treatment tract or from the treatment tract to the sludge treatment pond, it is recommended that at least one conveyor device, movable along the guideway and equipped with conveyor apparatus for sludge and/or granular soil, running transverse to the sludge treatment pond and the treatment tract, be provided, whose conveying direction can be selected. The length of the transverse distance over the treatment tract can be set or adjusted so that several parallel strips of the treatment tract can in this manner be fed with the material removed from the sludge treatment pond. It is further recommended that sludge receivers be provided for such a conveyor apparatus, and that these receivers can be fitted to the end of the conveyor apparatus located above the sludge treatment pond. Instead of or in addition to this setup, it is recommended that soil receivers also be provided, which can be fitted to the end of the conveyor apparatus located above the treatment tract.

While microorganisms for the aerobic biodegradation treatment can be fed or refed by being sprayed on the soil, for the equipment in accordance with the invention it is recommended that adjustable or set apparatus for inoculating microorganisms in the sludge be provided above the sludge treatment pond. This inoculation should namely be carried out without introducing air or atmospheric oxygen to the sludge, if at all possible.

An especially advantageous embodiment of such an inoculation apparatus contains, for example, a lanciform tube that can be introduced to the sludge and an insertion device for the microorganisms fitted to or adaptable to this tube, operated with compressed inert gas and containing destructible ampules. For more or less automatic operation it is recommended that this insertion device be equipped with a perforated disk, which can alternatively be set up before

the tube, for the insertion of ampules filled with microorganisms and optionally additional nutrients for the microorganisms, and with a pushing device for inserting the respectively chosen ampule in the tube via setting the perforated disk. For a plant in accordance with the invention, such an inoculation apparatus for microorganisms can preferably be fitted on an adjustable sled above the surface of the sludge treatment pond, which sled itself can in turn be moved from the pond's edges to the desired sites by means of a towing device.

For the treatment tract for the aerobic biodegradation treatment, in a preferred embodiment of the invention, a soil turbulator traveling above the base plate can be provided, which contains at least one rototiller for whirling up the soil, positioned below a housing wall that covers an operating chamber, and nozzles fitted in the housing wall and directed into the operating chamber for injecting water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms. Such a soil turbulator can be constructed in such a manner that it processes a soil layer of continuously uniform thickness, which it whirls up with air to a high degree. In this step, soil clods are reduced and the permeability of the soil to air is improved substantially. At the same time, such a soil turbulator offers substantially improved distribution of moisture and soil nutrients and also microorganisms within the soil to be treated. The soil turbulator can thereby be constructed in the manner of a stack processing machine and moreover have a housing wall, which is constructed in the manner of an inlet hopper at the entrance to the treatment chamber and as side walls of a stacking machine at the exit of the treatment chamber. The soil turbulator can have a hygrometer before the treatment chamber or in the chamber's inlet area, which probes the soil to be treated and is connected to a volume control device for the water feed. Such a hygrometer is preferably constructed as a disk, for example a rotating disk.

The soil turbulator can be constructed as a single unit. However, one will preferably provide a machine constructed from separate aggregates, namely a soil turbulator that contains a pulling unit equipped with a power take-off shaft and a processing unit that can be geared to the pulling unit and connected to the drive for the tiller at the power take-off shaft, and also reservoirs for water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms and feed lines and control valves for feeding the water, the nutrient solution or nutrient dispersion and the microorganisms from the reservoirs to the nozzles fitted in the housing wall of the processing unit. The reservoirs for water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms can thereby be fitted to the

pulling unit. A mixing pump for water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms can thereby be provided on the processing unit, the air intake of said pump being connected to the feed lines for water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms and its pressure joint being connected to a distributor pressure line running to the nozzles.

An example of embodiment of the invention is elucidated in more detail below with reference to the drawing.

Figure 1 shows a diagram of two adjacent recultivation fields for anaerobic and aerobic treatment;

Figure 2 shows a diagram of section 2-2 of Figure 1;

Figure 3 shows a somewhat modified design of the recultivation fields according to Figures 1 and 2 as a diagram in sectional and perspective view;

Figure 4 shows a diagram of a lance for inoculating microorganisms in anaerobic treatment;

Figure 5 shows a revolver arrangement for loading the lance according to Figure 4;

Figure 6 shows a schematic diagram of the inoculation procedure by means of a lance according to Figure 4;

Figure 7 shows a diagram in vertical view of a soil turbulator to be used in the scope of aerobic treatment;

Figure 8 shows a part sectional view through the actual aerobic treatment tract in accordance with 2-2 in Figure 1 in a modified design;

Figure 9 shows a partial top view of the opened treatment tract in accordance with Figure 8 and

Figure 10 shows a stack processing machine to be used in the example according to Figures 8 and 9, as a diagram of section 10-10 of Figure 9.

For the plant 10 shown in the drawing for the combined biodegradation treatment of soil contaminated with organic contaminants and/or other xenobiotics, a sludge treatment pond 11 and a treatment tract 12 covered with at least one base plate 13 are arranged adjacent to each other for aerobic biodegradation treatment of the soil. The bottom and the circumferential wall of the sludge treatment pond 11 are constructed to be liquid-impermeable. The base plate 13 of the treatment tract 12 is constructed to be essentially liquid-impermeable, but is provided with channels 18 provided in the plate interior, which are connected to strip-shaped parts of the plate

surface via porous plate areas 16 so that in this manner liquid can be drained off from the stacks 131 of soil to be treated and gaseous media can be fed from below via the porous plate areas 16. The plant 10 further contains apparatus 14 with which the soil to be treated can be transferred from the sludge treatment pond 11 to the treatment tract 12 and/or vice versa. In the illustrated example, these apparatus 14 travel longitudinally over a partition wall 15 built between the sludge treatment pond 11 and the treatment tract 12. The apparatus 14 contain a conveyor 16 with which friable material and also sludgy material can be conveyed in the one or other chosen direction. The apparatus 14 further contain conveyor lines 19, 20, which run along the sludge treatment pond 11 and the treatment tract 12, the length of the conveyor lines 20 running along the treatment tract 12 being adjustable so that stacks 131 of soil to be treated can be set up to run parallel on the treatment tract 12 along the partition wall 15 when the apparatus 14 is operated.

As Figure 1 shows, a movable sled 21 for an inoculation lance 22 is moreover provided above the sludge treatment pond, while movable treatment apparatus 110 in the form of a soil whirling machine or a stack processing machine are provided on the treatment tract 12.

As Figure 1 shows, adjustment devices, for example cable pulls 21, are fitted above the sludge treatment pond 11, with which an adjustable sled 22 that carries the inoculation lance 14 can be set at any desired site above the sludge treatment pond.

In the modified embodiment according to Figure 3, the bottom surface of the sludge treatment pond is constructed with lateral inclination to facilitate drainage when pond surface water is emptied. The surface of the treatment tract 12 is also inclined toward the middle from both sides, so that surface water converges in the middle of the treatment tract and can be drained off via a channel 23 fitted in the base plate 13.

The end of the conveyor line 19 located over the sludge treatment pond 11 is moreover constructed so that sludge receivers 24 can be set up there, as indicated with dots in Figure 1. The end of the conveyor lines 20 located above the treatment tract 12 for aerobic biodegradation treatment can likewise be equipped with adaptable soil receivers, as indicated with dots in 25 in Figure 1.

Both the sludge treatment pond 11 and the treatment tract 12 for aerobic biodegradation treatment can be provided with a covering 45, as indicated in Figure 8. The covering to be provided over the sludge treatment pond 11 can moreover be constructed so that it can collect the

methane that accrues during sludge treatment. At the same time, the covering 14 on the sludge treatment pond 11 serves to set advantageous temperature and moisture conditions above the sludge treatment pond 11. The covering 45 that can be fitted over the treatment tract 12 serves primarily to protect against the environment and likewise permits the accurate adjustment of an advantageous treatment regimen with respect to temperature and moisture as well as gas composition of the stacks of soil to be treated.

In the embodiment of the inoculation lance 14 shown in Figure 4, a lance tube 31 is provided, which is movable vertically on the adjustable sled and can thus be removed from the sludge and inserted in the sludge. For better insertion in the sludge, the lance tube 31 is provided with a tip 32. A ring of exit openings 33 is constructed above the tip 32. The upper side of the lance tube 31 bears a revolver arrangement 34 and an insertion device 35 so that an ampule 36 filled with microorganisms can be pushed from the revolver arrangement 34 into the upper end of the lance tube 31. As Figure 5 shows, the revolver arrangement can contain, for example, a revolver plate 37 with six ampule receivers 38. The ampule receivers 38 are arranged at an angle of 60°. The revolver plate 37 has plate sections 39 between the ampule receivers 38. By rotating the revolver disk 37 by an angle of 30°, an ampule receiver 38 or a subsequent wall section 39 can be alternately set over the upper side of the lance tube 31. As shown in Figure 6, such a setting is provided in the starting position 1, in which an intermediate plate section 39 is located above the upper end of the lance tube 31. A chosen ampule can then be set over the upper end of the lance tube 31 by rotating the revolver disk 37. This ampule is then inserted in the lance tube 31 with the insertion device 35. The revolver disk 37 is then rotated by 30° so that the next intermediate plate section 39 forms an upper closure for the lance tube 31. Inert gas, for example nitrogen, is then injected into the upper end of the lance tube 31 above the inserted ampule 36 via a line 40. The nitrogen presses the ampule 36 in the inside of the lance tube 31 down to the area of the tip 32. The ampule 36 then smashes at the lower end of the lance tube 31 in the area of the tip 32.

The microorganisms are then propelled by the pressure exerted by the inert gas through the ring of openings 33 out of the lance tube 31 into the surrounding sludge.

By adjusting the sled 22 and by adjusting the revolver disk 37, desired microorganisms or consortia of microorganisms can thus be inoculated in the sludge at any desired site of the sludge treatment pond 11.

For working up the soil 61 involved in aerobic biodegradation treatment, movable processing units are especially suitable, as elucidated below with reference to Figures 7 to 10.

Figure 7 shows a diagram of a soil whirling machine 110. The soil whirling machine 110 contains a series of tilling disks 112 set up on an axis 111 running transverse to the advance direction, which disks are actuated to rapid rotation in the direction of the arrow 113. The series of tilling disks 112 is fitted below a housing wall 114. The entire unit can be supported by means of a frame 115 on laterally fitted wheels (not shown). A feed device 116 for water ( $H_2O$ ), nutrient solution or nutrient dispersion (*NUTR*) and microorganisms (*Mo*) is fitted to the frame 115 above the series of tilling disks 112. This feed device contains a mixing pump (*P*) 117 for these substances. The feed line for these substances is connected to the air intake of this mixing pump 117 via a valve 118, while spray nozzles 120 are connected to the pressure joint of the mixing pump via a distributor line 119. These spray nozzles are directed at the soil whirled up by the tilling disks 112 inside a treatment chamber 121 constructed below the housing wall 114.

A disk-shaped hygrometer 122 is fitted in the advance direction before the series of tilling disks 112, which hygrometer is connected electrically to a control unit 123 so that the measured moisture values can be input to this control unit 123. In this example, the moisture desired for the treatment of the soil, the desired refeeding of nutrient solution or nutrient dispersion and the desired recharging with microorganisms can be adjusted at the control unit. In the illustrated example, the control unit 123 can accordingly contain a microprocessor, which carries out the required controls of the actuation 124 of the mixing pump 117, the valve 118 connected on the line side of the mixing pump 117 and the valves 125, 126 and 127 set up at the exits of the reservoirs 128, 129 and 130 for water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms, based on the conducted adjustments and on the measured moisture value. The soil turbulator 110 can be driven from time to time, for example every 3 to 4 days or even only every 3 to 4 weeks, depending on the requirement, through the layer of soil to be treated placed on the base plate 13. As indicated in Figure 7, the soil to be treated is whirled up by the tilling plates 112 and flung through the treatment chamber 121 constructed inside the housing wall 114. In this state the whirled-up soil is sprayed with a mixture of water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms and intensely mixed with the air present in the treatment chamber



121. The mixture of sprayed soil and air is then deposited behind the series of tilling disks 112 to be processed to a new intensely loosened layer 61' interspersed with air.

Via this intensive turbulence and aeration when using a soil turbulator 110, a layer 61 that is substantially higher than the conventional treatment layer of 30 cm, for example twice as high, can be placed on the base plate 13.

The soil turbulator 110 can extend along the entire width of the base plate 13. However, in the scope of the invention it is also possible to gear the soil turbulator to a pulling unit, for example a tractor (cf. Figures 9 and 10), as a drivable treatment unit on wheels and to actuate the series of tilling disks from a power take-off shaft of the pulling unit. Due to the high treatment intensity that can be attained with the soil whirling machine in accordance with Figure 7, such a pulling unit can run on a track next to the running track of the soil whirling machine 110, if then on the side to be treated subsequently.

If such a pulling unit is provided for, the reservoirs 128, 129 and 130 can be fitted to the pulling unit and be connected to the feed device 116 fitted on the soil whirling machine 110 via a hose assembly.

In the example of Figures 8 to 10, instead of a layer, stacks 131 of the soil excavated from the contaminated site are formed on a base plate 13. When these stacks 131 are formed, the soil can already have first been mixed intensely with air and sprayed-on water and also with sprayed-on soil nutrients and charged microorganisms. The stacks 131 thereby run along the length of the base plate 13, and a large number of such stacks 131 are set up adjacent to each other. In the example according to Figure 13, two such stacks are arranged at a small mutual distance, leaving a gap 132 through which a pulling unit, for example a tractor 133 or an off-road vehicle (Unimog), can be driven. In accordance with Figure 12, the stacks 131 can be underlaid with a layer 60 of biological straw. The longitudinal channels 16 provided for in the example in accordance with Figures 2 and 3, with porous body 17 and longitudinal flow holes 18, can also be used in this example for feeding air from below in the direction of the arrow 67 and for draining off water downward in the direction of the arrow 62. However, the formation of stacks 131 has the particular advantage that the soil to be treated in the stack 131 is also aerated from the air chamber 46 constructed above the base plate 13, as indicated by the arrow 134. Moreover, because of the stacks 131, the surface formed on the soil to be treated is substantially

enlarged, so that the radiation emitted by the lights 50 also exerts a more intense influence on the soil to be treated and on the microorganisms taken up in it.

To moisten the stacks frequently from above, spray nozzles 30 can be fitted to a girder-like scaffold that runs transversely over the base plate 13, with which water is sprayed over the stacks 131. In view of the height of the stacks 131 and the increased air feed from the air chamber 46 to the stacks 131 and, last but not least, in view of the better distribution of the sprayed-on water on the stacks 131, in this example one will build the girder-like scaffold and the covering 45 higher than in the example of Figure 3.

As shown in Figures 9 and 10, in this example one will construct the soil whirling machine 110 in the manner of a stack processing machine. For this purpose an actual turning or treatment unit 135 is provided, which is pulled by a pulling unit, for example a tractor 133, and is actuated via the power take-off shaft 136 of the tractor 133. The turning and treatment unit 135 carries on its frame 115 the reservoirs for water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms and also the feed device as a feed unit 116, which can be actuated electrically by the tractor's source of electricity.

Similar to the soil turbulator 110 according to Figure 7, the turning and treatment unit 135 contains a series of tilling disks 112, but additionally two spiral conveyors or rotary hoe conveyors 137 in the transport direction of the series of tilling disks 112, which conveyors move the soil to be treated from the lateral areas of the stack 131 to the operating area of the tilling disks 112. Furthermore, a spray nozzle 120 is fitted above the series of tilling disks 112 in a corresponding manner as in the example of Figure 7. An intensive thorough mixing of the soil to be treated with air and sprayed-on water, sprayed-on nutrient solution or nutrient dispersion and charged microorganisms is also carried out with this stack processing machine. In contrast to the soil turbulator 110 according to Figure 7, the front housing 138 of the stack processing machine is constructed in the manner of an inlet hopper for the stack and the back housing is constructed as the side walls of a stacking machine 139. The treatment chamber 121 illustrated in sectional view in Figure 14 is formed between the two housing sections.

Using the soil whirling machine 110 or stack processing machine, the biodegradation step is substantially improved and the time for the biological degradation is substantially shortened. With the soil whirling machine 110 or stack processing machine, a considerable enrichment of

oxygen in the soil to be treated is obtained and a simultaneous reduction of the soil is brought about, resulting in a considerably better sorption and availability of oxygen. When this unit is in operation the soil is simultaneously moistened to the desired extent, the liquid components being nozzle-sprayed during the turbulence stage because the nozzles are fitted above the cutter, thus bringing about an intensive and even distribution of the moisture, the soil nutrients and the microorganisms in the soil to be treated.

Instead of the plant described above, the process for the combined anaerobic and aerobic treatment of contaminated soil can also be executed with combined plants, in which the anaerobic treatment is carried out in bulk storage tanks in the manner of digestion towers while the aerobic treatment takes place, for example, in rotating cylinder treatment plants, as is indicated, for example, in the older patent application P 37 20 833.0.

### Claims

1. Process for the recultivation treatment of xenobiotically contaminated soil via introduction of microorganisms that break down the respective contaminants or the respective xenobiotic, if necessary together with nutrients for these microorganisms, to the soil to be treated and creation of favorable living and breeding conditions for the introduced microorganisms in the soil to be treated, the soil to be treated being removed from the contaminated site and being fed with water and with corresponding selected microorganisms corresponding to the respective contaminating contaminants and/or xenobiotics, and, corresponding to the requirement, also being fed with nutrients for these microorganisms on a bed separated from at least the subsoil with respect to the passage of liquid and gases, **characterized by** the combination of at least two successively executed treatment phases of different types, namely biodegradation of the anaerobic type and biodegradation of the aerobic type.
2. Process according to Claim 1, characterized in that the soil to be treated is adjusted corresponding to the result of preliminary analyses conducted on it with respect to the type of its contamination and with respect to its consistency, and the type of the biodegradation treatment phase to be executed first, to be chosen for the contamination in accordance with

the type of contamination, is adjusted, and that after this chosen first biodegradation treatment phase is carried out but before each additional biodegradation treatment phase to be executed thereafter is carried out, the soil to be treated is converted to a consistency required for the type of the respectively following biodegradation treatment phase.

3. Process according to Claim 1 or 2, characterized in that the soil to be treated is adjusted to a sludgy consistency for anaerobic biodegradation treatment and to a friable, moist consistency, constant for gaseous media, for aerobic biodegradation treatment.
4. Process according to Claim 2 or 3, characterized in that the consistency is adjusted via addition of essentially water to the soil or via draining-off of liquid from the soil.
5. Process according to one of the Claims 1 to 4, characterized in that during the one or other biodegradation treatment phase and while the consistency of the soil to be treated is adjusted, drained-off water is recycled to the soil to be treated, with or without addition of treating substances and/or microorganisms, in treatment phases requiring water, after any carried-over contaminants have been removed.
6. Process according to one of the Claims 1 to 5, characterized in that rain water fallen on the biodegradation plant, especially on the soil to be treated, is collected or drained off from the soil to be treated and is recycled to the soil to be treated, with or without addition of treating substances and/or microorganisms, in treatment phases requiring water, after any carried-over contaminants have been removed.
7. Process according to one of the Claims 1 to 6, characterized in that the microorganisms introduced to the soil at the beginning of each individual biodegradation treatment phase, of the genus provided for said phase, are redosed and/or supplemented via addition of microorganisms of different genus and/or different species during the course of the respective biodegradation treatment phase.
8. Process according to Claim 7, characterized in that consortia of synergistically interacting microorganisms in anaerobic biodegradation are introduced to the soil before and, if necessary, also supplementally during the anaerobic treatment under anaerobic conditions.
9. Process according to Claim 8, characterized in that the microorganisms for anaerobic treatment are introduced to the soil and distributed in it under application of inert gas.

10. Process according to one of the Claims 7 to 9, characterized by the use of methanogenic bacteria in phases of anaerobic biodegradation treatment.

11. Process according to one of the Claims 7 to 10, characterized by the use of chemoautotrophic bacteria interacting with other organisms to initiate sulfur, nitrogen and iron cycles in phases of anaerobic biodegradation treatment.

12. Process according to one of the Claims 1 to 11, characterized in that combustible gases produced during the biodegradation are collected and used to generate energy to be charged to the soil to be treated during the biodegradation treatment.

13. Plant for the combined biodegradation treatment of soil contaminated with organic contaminants and/or other xenobiotics according to one of the Claims 1 to 12, characterized in that a sludge treatment pond (11) and a treatment tract (12), covered with at least one base plate, are arranged adjacent to each other for aerobic biodegradation treatment of the soil, the bottom and the circumferential wall of the sludge treatment pond ( . . . ) being constructed to be liquid-impermeable, while porous plate areas (16) connected to the plate interior of provided channels ( . . . ) are provided in the otherwise liquid-impermeable floor plate (13) and the channels provided in the plate interior are connected to apparatus for draining off liquid and/or feeding gaseous media, and that apparatus (14) are arranged for transferring the soil to be treated from the sludge treatment pond (11) to the treatment tract (11) and/or vice versa, and also that movable treatment apparatus (22, 110) for the soil are arranged on the sludge treatment pond (11) and/or the treatment tract (12).

14. Plant according to Claim 13, characterized in that the sludge treatment pond (11) and the treatment tract (12) for aerobic biodegradation treatment are arranged on both sides of a guideway of one or more transfer devices (14).

15. Plant according to Claim 13 or 14, characterized in that the sludge treatment pond (11) and the treatment tract for aerobic biodegradation treatment are arranged adjacent to each other longitudinally and have essentially the same length, the guideway (15) provided between them runs along this length and the porous plate areas (16) are constructed as strips parallel to the guideway and each other and run along the length of the treatment tract (12).

16. Plant according to one of the Claims 13 to 15, characterized in that attachable or fitted coverings (45) are provided above the sludge treatment pond (11) and the treatment tract (12) for aerobic biodegradation treatment for the formation of separate sealable rooms ( . . . ).
17. Plant according to one of the Claims 14 to 16, characterized in that at least one conveyor device (14), movable along the guideway (15) and equipped with conveyor apparatus for sludge and/or granular soil, running transverse to the sludge treatment pond (11) and the treatment tract (12), is provided, whose conveying direction can be selected.
18. Plant according to Claim 17, characterized in that the conveyor apparatus are adjustable or movable with regard to the length of their transverse distance over the treatment tract (12) for aerobic biodegradation treatment.
19. Plant according to Claim 17 or 18, characterized in that sludge receivers (24) that can be fitted to the end of the conveyor apparatus (14) located above the sludge treatment pond (11) and/or soil receivers (25) that can be fitted to the end of the conveyor apparatus (14) located above the treatment tract (12) for aerobic biodegradation treatment, are provided.
20. Plant according to one of the Claims 13 to 19, characterized in that apparatus for inoculating microorganisms in the sludge, adjustable or set above the sludge treatment pond (11), are provided.
21. Plant according to Claim 20, characterized by a device (14) for inoculating microorganisms in the sludge, which contains a lanciform tube that can be introduced to the sludge and an insertion device (34) for destructible ampules (36) containing microorganisms, fitted or attachable to this tube and operated with compressed inert gas.
22. Plant according to Claim 21, characterized in that the insertion device (34) contains a perforated disk (37), that can be set up before the tube, for inserting the ampules filled with microorganisms and optionally additional nutrients for the microorganisms, and a pushing device (35) for inserting the respectively chosen ampule (36) in the tube via setting the perforated disk (37).
23. Plant according to one of the Claims 20 to 22, characterized in that the inoculation device (14) for microorganisms is fitted to a sled (22) that can be moved over the surface of the sludge treatment pond (11).

24. Plant according to Claim 23, characterized in that the sled (22) can be moved from the pond's edges ( . . . ) to the desired sites by means of a towing device (21).
25. Plant according to one of the Claims 13 to 24, characterized in that a base plate (13), equipped on its underside with a solid layer impermeable to water and gas, is provided with longitudinal channels (17) in which porous bodies (16) are fitted while forming at least one free channel-like longitudinal flow hole (18) per each longitudinal channel (17), said longitudinal channels being constructed to form a gradient to a lateral edge ( . . . ) of the base plate (13) or the base plate (13) being installable to form such a gradient.
26. Plant according to Claim 25, characterized by treatment cars (110) traveling over and along the base plate (13) and having apparatus (115-120) for feeding water, microorganisms and nutrients for the microorganisms.
27. Plant according to Claim 26, characterized in that the treatment car (110) extends bridge-like over the width of the base plate (13) and has on each side a traversing gear ( . . . ) that runs on guides ( . . . ) provided on the lateral edges of the base plate (13).
28. Plant according to Claim 26 or 27, characterized in that the treatment car (110) is equipped with carriage controls (133) that are set or can be adjusted to the desired feed rate of the treatment car (110) along the base plate (13).
29. Plant according to Claim 28, characterized in that the carriage controls ( . . . ) are themselves incorporated in the treatment car ( . . . ).
30. Plant according to Claim 28, characterized in that the carriage controls ( . . . ) are fitted to the base plate ( . . . ) in a fixed manner and are connected to the treatment car ( . . . ) via pulling elements, for example cables.
31. Plant according to one of the Claims 24 to 30, characterized in that the treatment car (110) is provided with devices (112) for the mechanical working-up of the soil layer (131) spread out on the base plate (13), which are permanently mounted on the treatment car (110) or can be temporarily mounted on it.
32. Plant according to one of the Claims 26 to 31, characterized in that the base plate (13) is constructed with elevated lateral edge strips (15), which are constructed on the upper side as guideways for the traversing gears of the treatment car or which bear such guideways, for example guide rails.

33. Plant according to one of the Claims 26 to 32, characterized in that the treatment car (110) is constructed in the manner of a light scaffold, preferably a tubular scaffold, running along the width of the base plate (13) and drivable along the base plate (13).

34. Plant according to one of the Claims 26 to 33, characterized in that stationary reservoirs (. . .) for water, nutrient solution and liquid containing microorganisms and also stationary pumps (. . .) and hose assemblies (. . .) running from these pumps to the treatment car (. . .) are arranged on the treatment car (. . .).

35. Plant according to Claim 25, characterized by a soil turbulator (110) traveling above the base plate (13), which turbulator contains, below a housing wall (114) covering an operating chamber (121), at least one rotating and soil-whirling tiller (112) and nozzles (120) fitted in the housing wall and directed into the operating chamber (121) for injecting water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms.

36. Plant according to Claim 35, characterized in that the soil turbulator has a housing wall in the manner of a stack processing machine, which housing wall is constructed in the manner of an inlet hopper (138) at the entrance to the treatment chamber (121) and as side walls of a stacking machine (139) at the exit of the treatment chamber (121).

37. Plant according to Claim 35 or 36, characterized in that a hygrometer (122) that probes the soil (61) to be treated is fitted before the treatment chamber (121) or in its inlet area and is connected to a volume control device (123) for the water source.

38. Plant according to Claim 37, characterized in that the hygrometer (122) is constructed as a disk, preferably as a rotating disk.

39. Plant according to one of the Claims 35 to 38, characterized in that the soil turbulator (110) contains a pulling unit (133) equipped with a power take-off shaft (136) and a processing unit that can be geared to the pulling unit and connected to the drive for the tiller (112) at the power take-off shaft (136), and also reservoirs for water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms and feed lines and control valves (125 to 127) for feeding the water, the nutrient solution or nutrient dispersion and the microorganisms from the reservoirs (128 to 130) to the nozzles (120) fitted in the housing wall of the processing unit (110).



40. Plant according to Claim 39, characterized in that the reservoirs (128 to 130) for water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms are fitted to the pulling unit.

41. Plant according to Claim 39 or 40, characterized in that a mixing pump (117) for water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms, fitted to the processing unit (110), is provided, whose air intake is connected to the feed lines for water, nutrient solution or nutrient dispersion and microorganisms and whose pressure joint is connected to a distributor pressure line running to the nozzles (120).

Fig.1

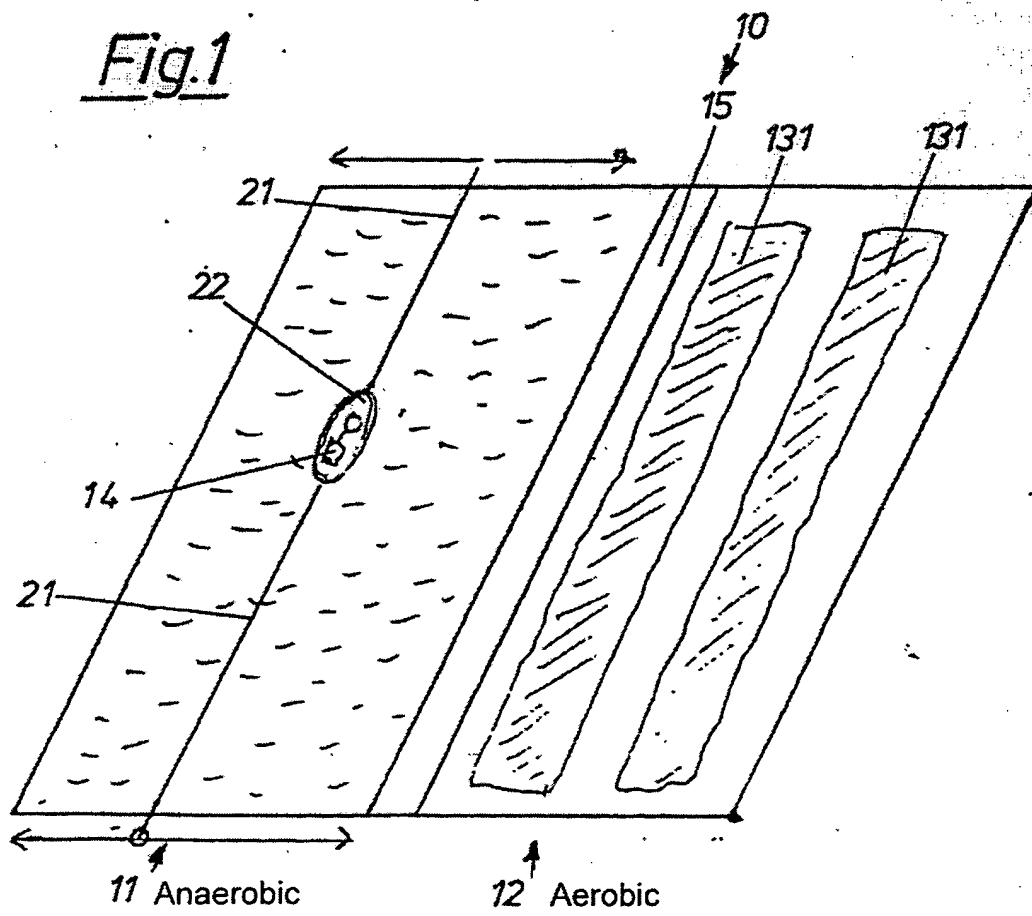


Fig.2

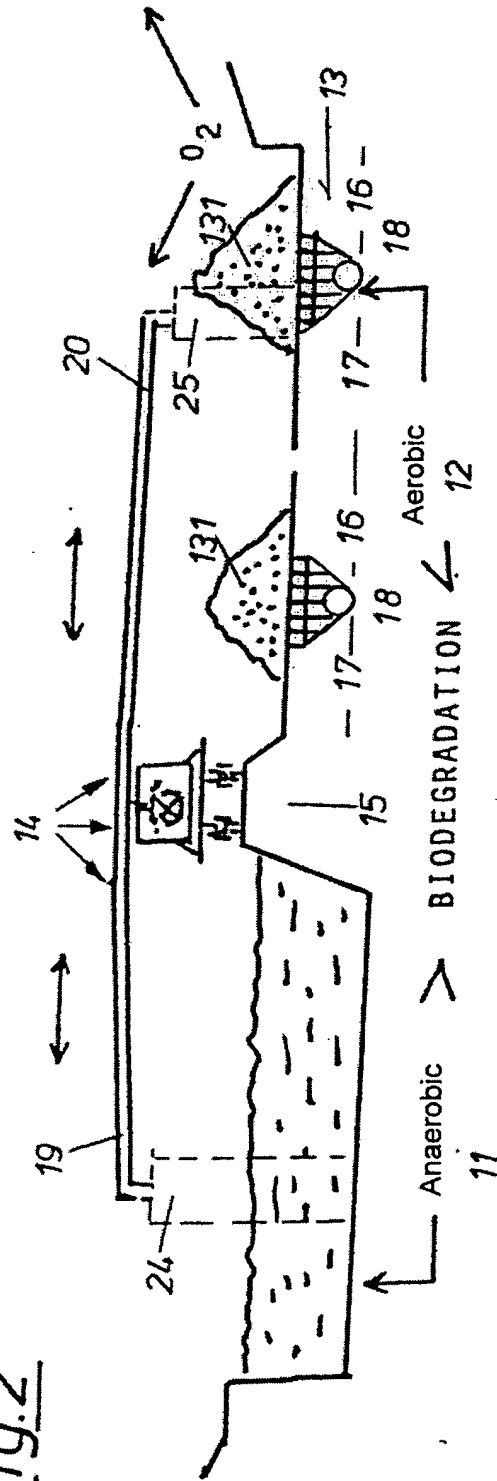


Fig.3

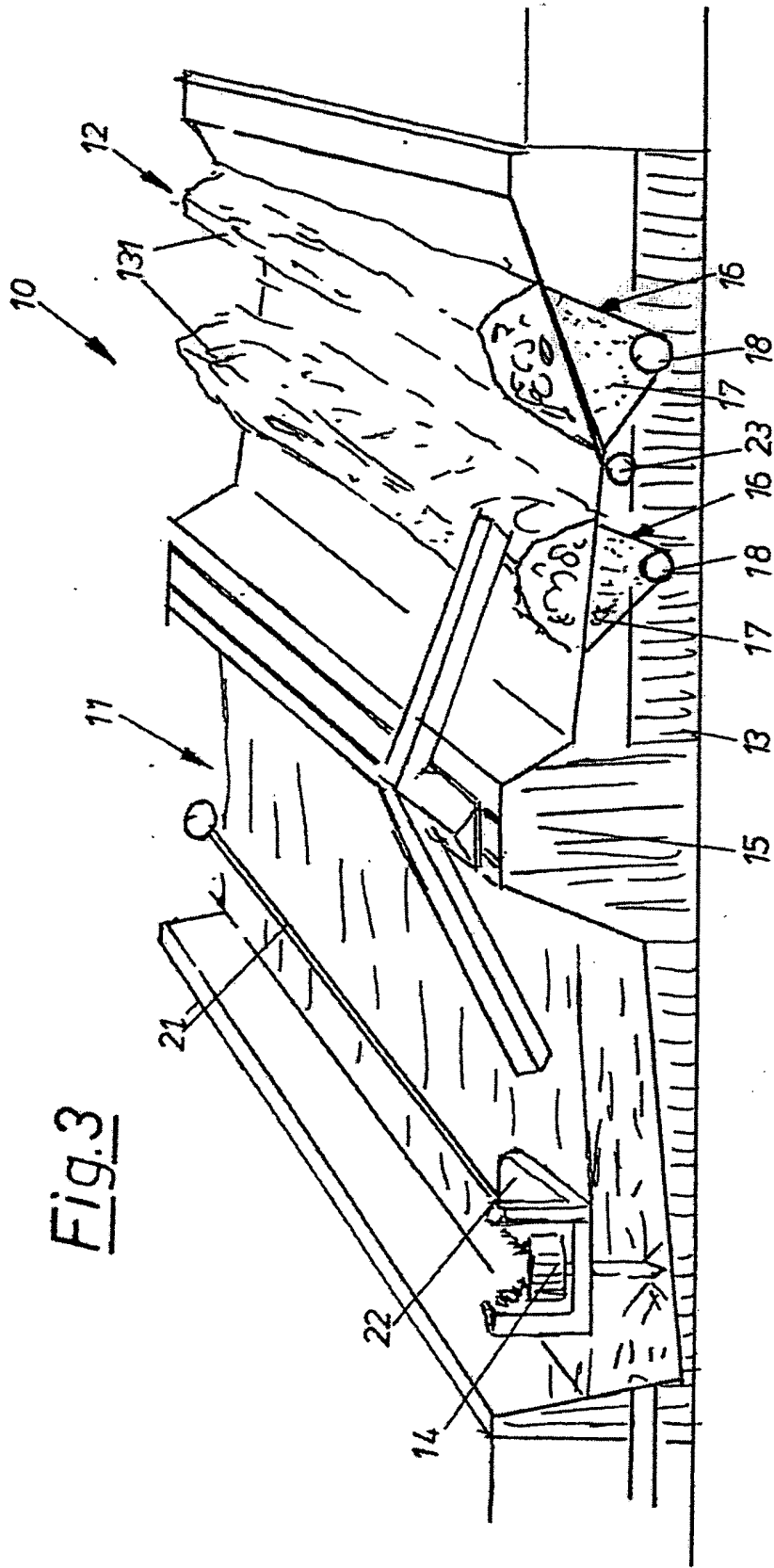


Fig. 4

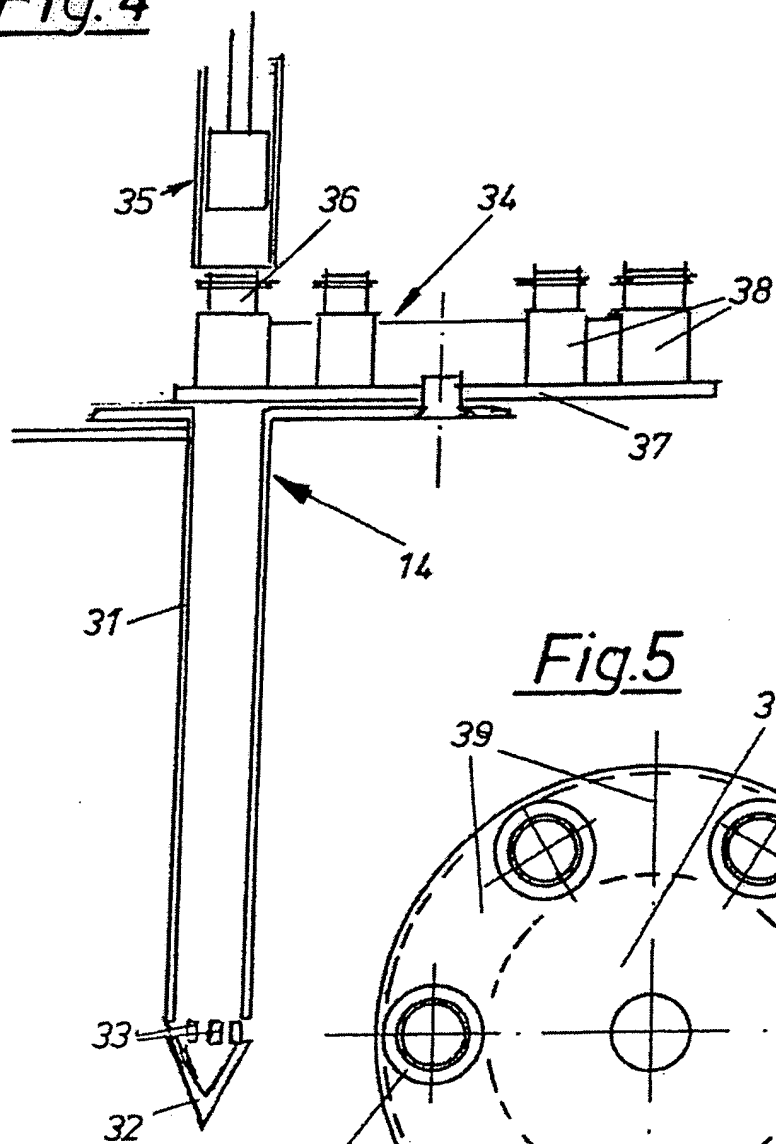


Fig. 5

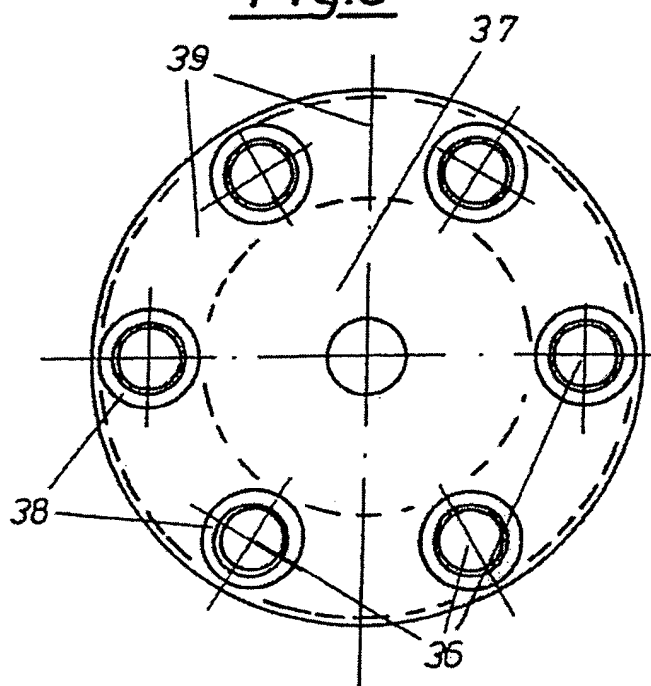
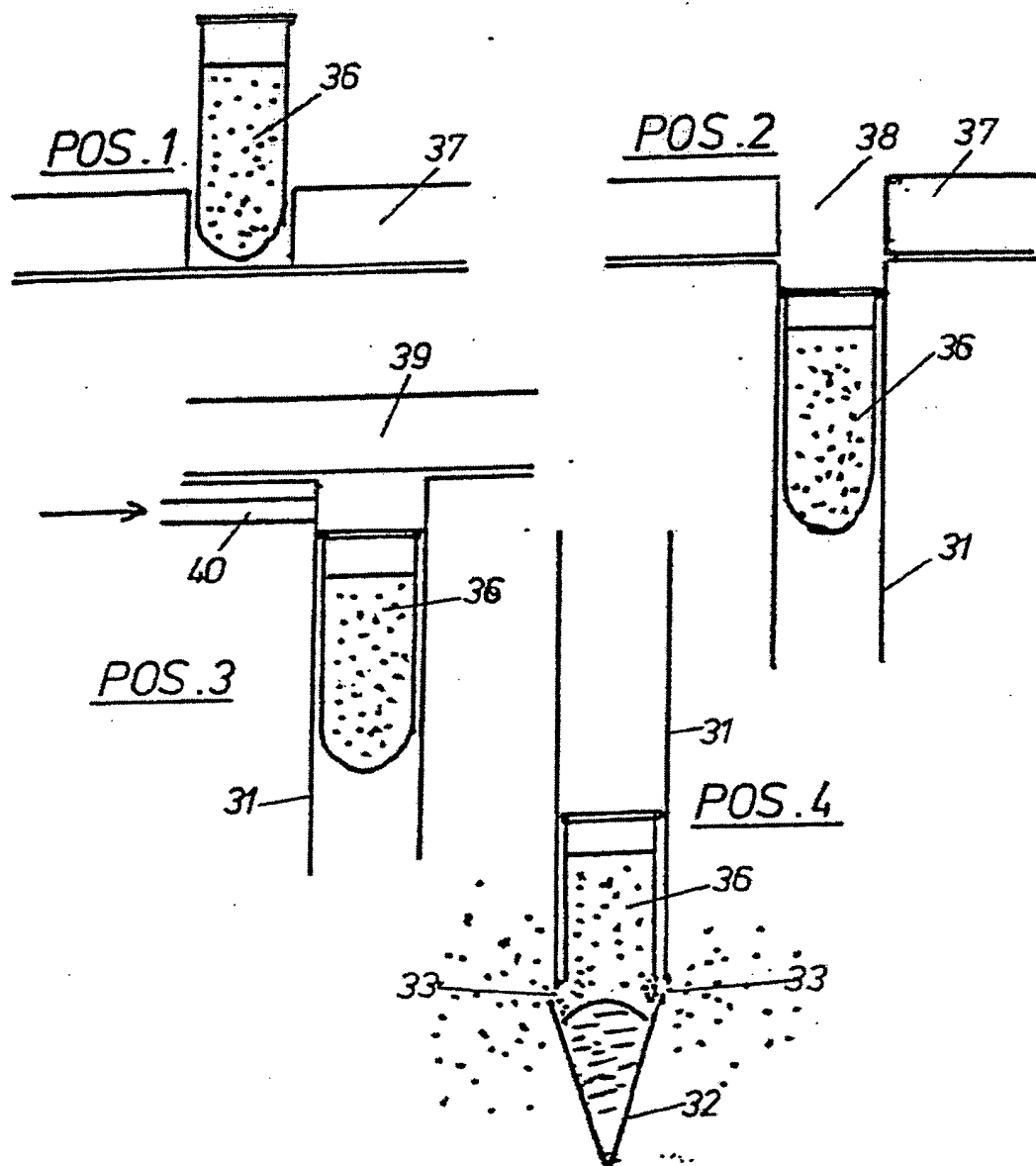


Fig.6



*Fig.7*

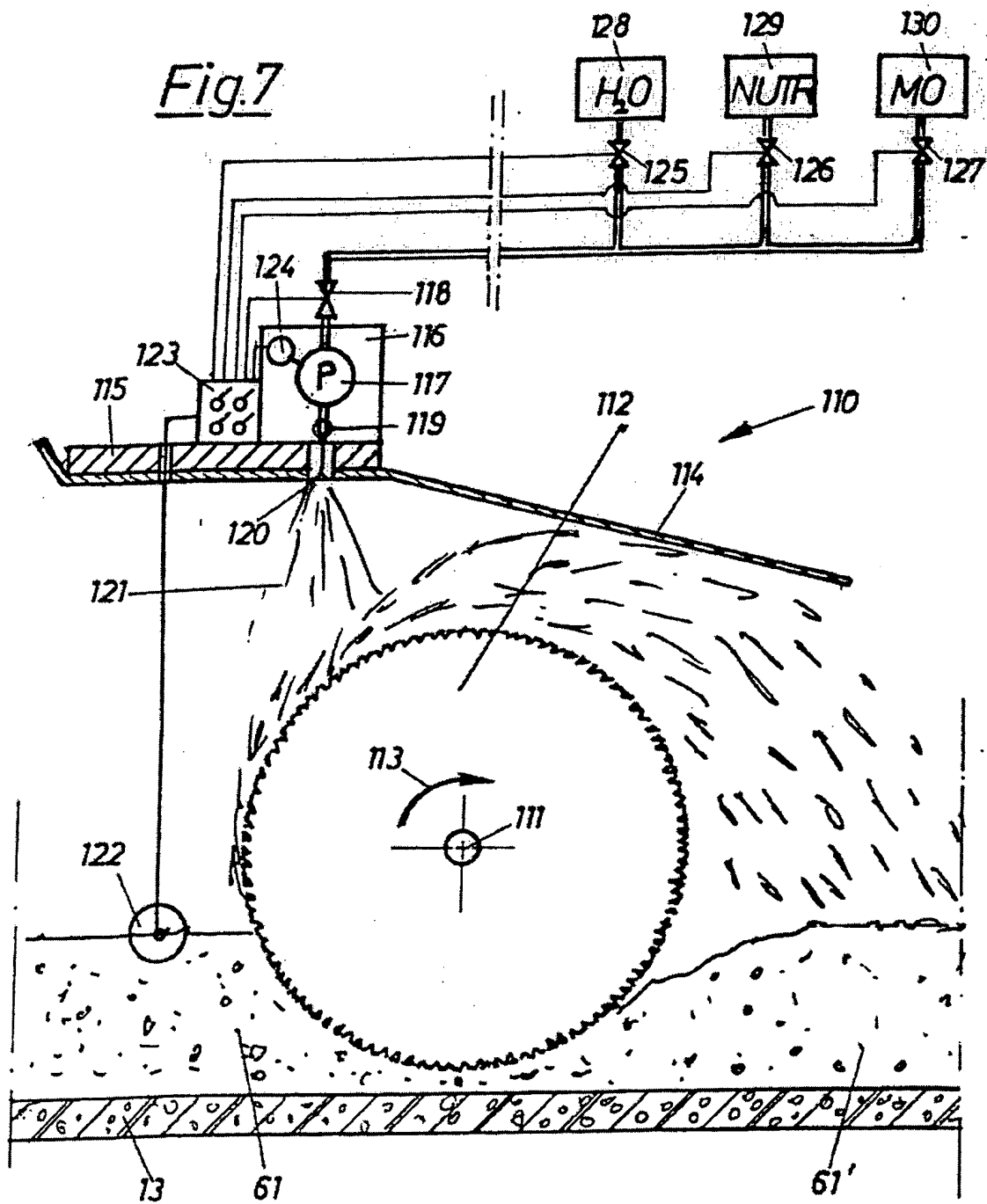
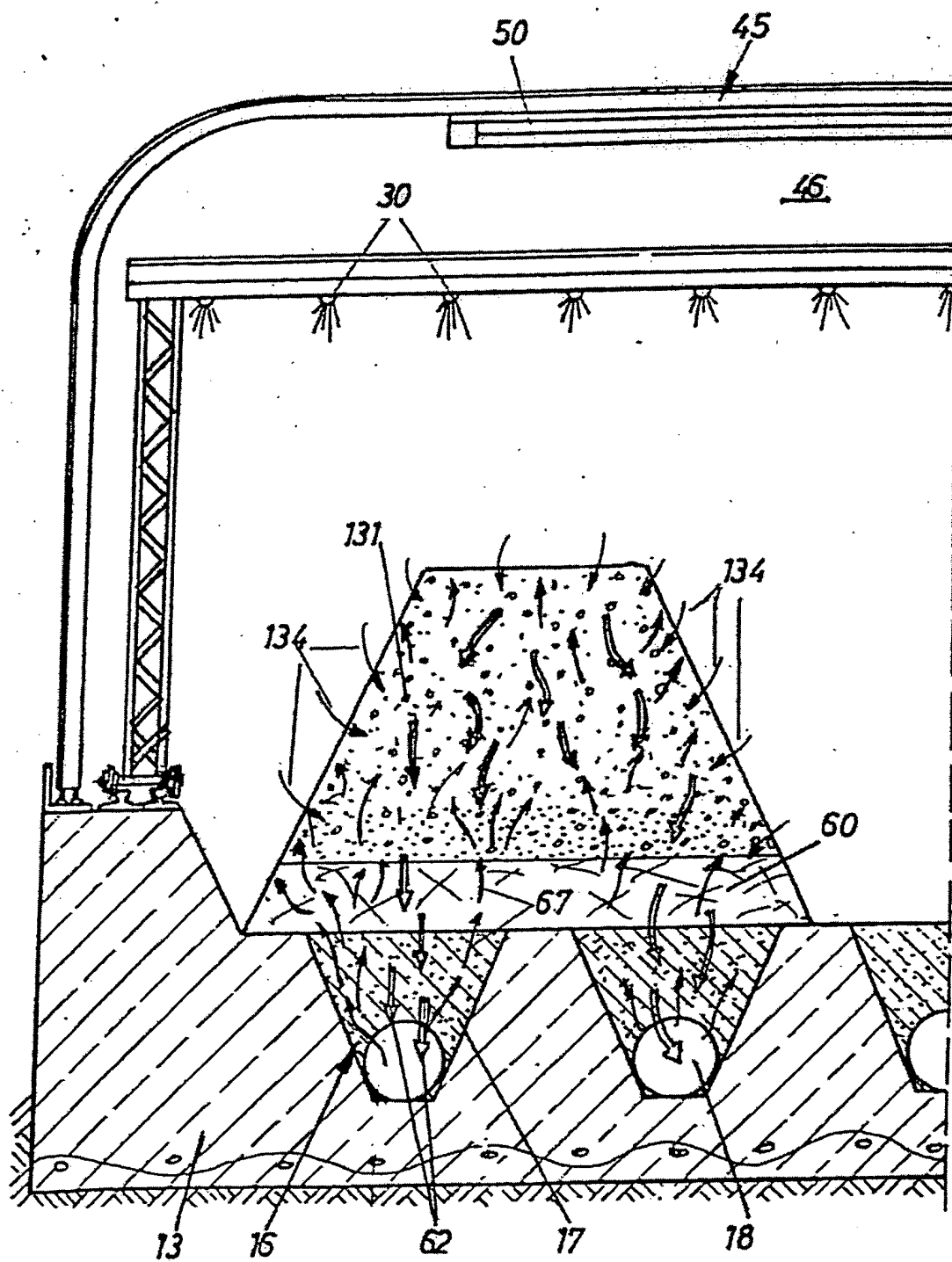
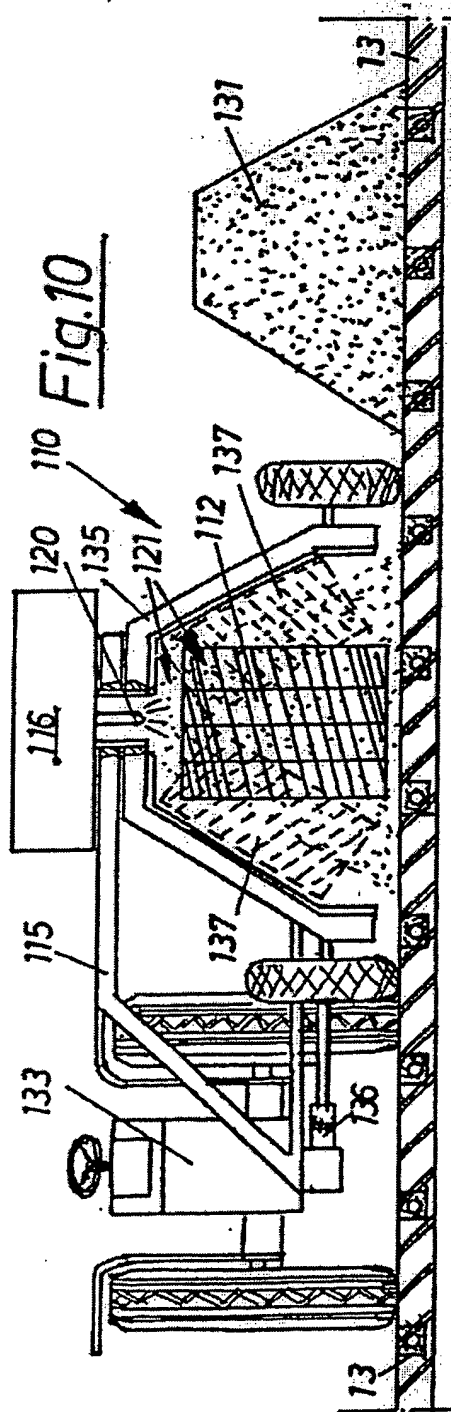
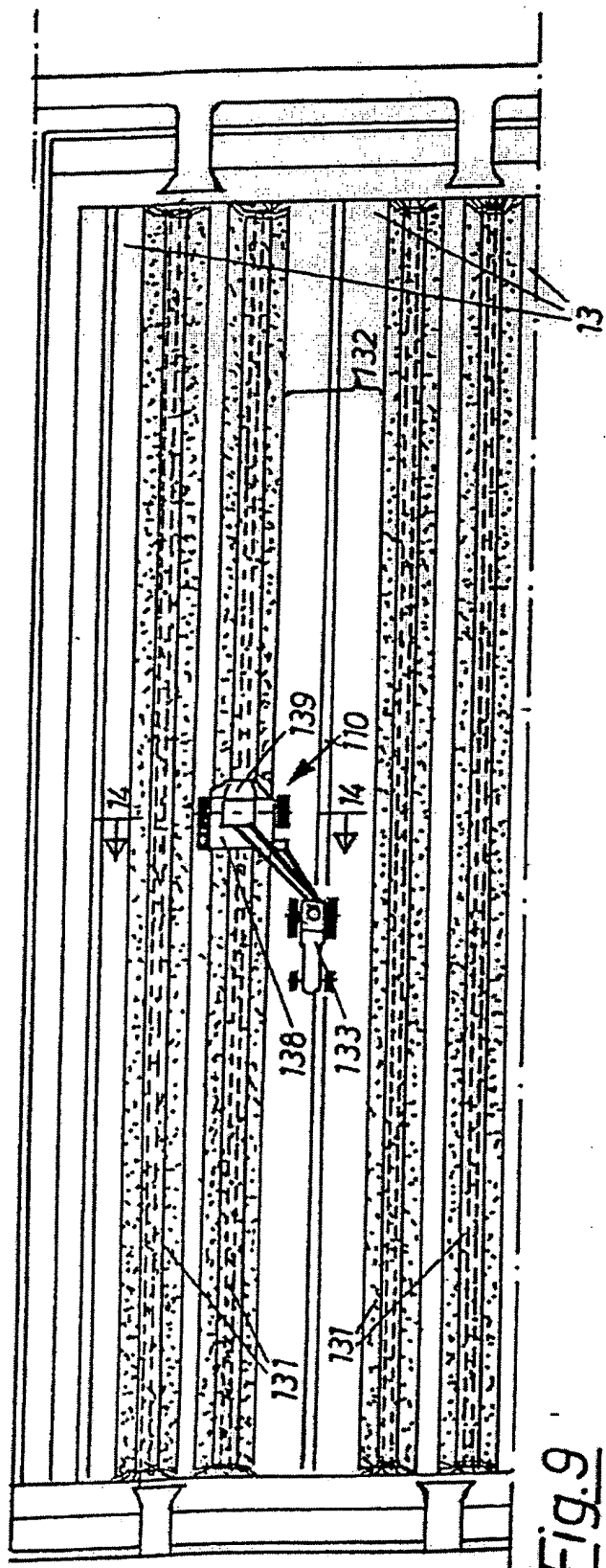


Fig. 8







**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**